This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Informazioni su questo libro

Si tratta della copia digitale di un libro che per generazioni è stato conservata negli scaffali di una biblioteca prima di essere digitalizzato da Google nell'ambito del progetto volto a rendere disponibili online i libri di tutto il mondo.

Ha sopravvissuto abbastanza per non essere più protetto dai diritti di copyright e diventare di pubblico dominio. Un libro di pubblico dominio è un libro che non è mai stato protetto dal copyright o i cui termini legali di copyright sono scaduti. La classificazione di un libro come di pubblico dominio può variare da paese a paese. I libri di pubblico dominio sono l'anello di congiunzione con il passato, rappresentano un patrimonio storico, culturale e di conoscenza spesso difficile da scoprire.

Commenti, note e altre annotazioni a margine presenti nel volume originale compariranno in questo file, come testimonianza del lungo viaggio percorso dal libro, dall'editore originale alla biblioteca, per giungere fino a te.

Linee guide per l'utilizzo

Google è orgoglioso di essere il partner delle biblioteche per digitalizzare i materiali di pubblico dominio e renderli universalmente disponibili. I libri di pubblico dominio appartengono al pubblico e noi ne siamo solamente i custodi. Tuttavia questo lavoro è oneroso, pertanto, per poter continuare ad offrire questo servizio abbiamo preso alcune iniziative per impedire l'utilizzo illecito da parte di soggetti commerciali, compresa l'imposizione di restrizioni sull'invio di query automatizzate.

Inoltre ti chiediamo di:

+ *Non fare un uso commerciale di questi file* Abbiamo concepito Google Ricerca Libri per l'uso da parte dei singoli utenti privati e ti chiediamo di utilizzare questi file per uso personale e non a fini commerciali.

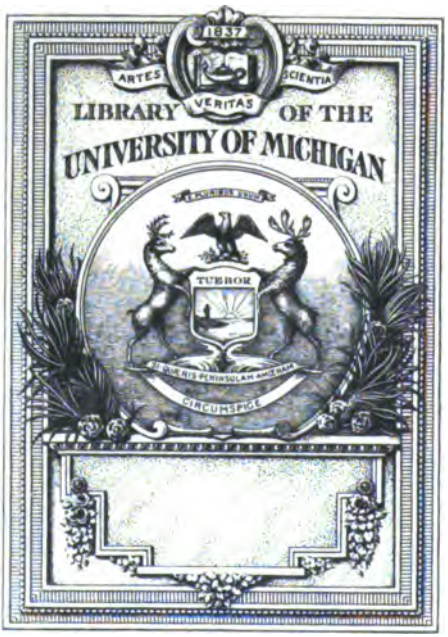
+ *Non inviare query automatizzate* Non inviare a Google query automatizzate di alcun tipo. Se stai effettuando delle ricerche nel campo della traduzione automatica, del riconoscimento ottico dei caratteri (OCR) o in altri campi dove necessiti di utilizzare grandi quantità di testo, ti invitiamo a contattarci. Incoraggiamo l'uso dei materiali di pubblico dominio per questi scopi e potremmo esserti di aiuto.

+ *Conserva la filigrana* La "filigrana" (watermark) di Google che compare in ciascun file è essenziale per informare gli utenti su questo progetto e aiutarli a trovare materiali aggiuntivi tramite Google Ricerca Libri. Non rimuoverla.

+ *Fanne un uso legale* Indipendentemente dall'utilizzo che ne farai, ricordati che è tua responsabilità accertati di farne un uso legale. Non dare per scontato che, poiché un libro è di pubblico dominio per gli utenti degli Stati Uniti, sia di pubblico dominio anche per gli utenti di altri paesi. I criteri che stabiliscono se un libro è protetto da copyright variano da Paese a Paese e non possiamo offrire indicazioni se un determinato uso del libro è consentito. Non dare per scontato che poiché un libro compare in Google Ricerca Libri ciò significhi che può essere utilizzato in qualsiasi modo e in qualsiasi Paese del mondo. Le sanzioni per le violazioni del copyright possono essere molto severe.

Informazioni su Google Ricerca Libri

La missione di Google è organizzare le informazioni a livello mondiale e renderle universalmente accessibili e fruibili. Google Ricerca Libri aiuta i lettori a scoprire i libri di tutto il mondo e consente ad autori ed editori di raggiungere un pubblico più ampio. Puoi effettuare una ricerca sul Web nell'intero testo di questo libro da `http://books.google.com`


1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR
CIRCUMSPICE

QC
23
.B443

CORSO ELEMENTARE

DI

FISICA SPERIMENTALE

DI

GIUSEPPE BELLI, 1791—1858

PROFESSORE DI FISICA

NELL'I. R. LICEO DI PORTA NUOVA IN MILANO

VOL. I.

MILANO

DALLA SOCIETÀ TIPOGRAFICA DE' CLASSICI ITALIANI

MDCCCXXX

AL BENIGNO LETTORE

Library com.
Perella
5-22-24
9799

Eccitato da un invito del Governo ai Professori di Fisica dello Stato, ho ardito accingermi alla compilazione e alla pubblicazione del presente Corso di Fisica. *Io mi sono limitato, siccome impresa per se stessa abbastanza difficile, alla sola Fisica* particolare o sperimentale, *vale a dire alle dottrine riguardanti le proprietà fondamentali della materia e a quelle sui quattro principii imponderabili; ed ho ommessa la Meccanica, della quale abbiamo già pregevoli trattati, fra i quali quello del ch. professore Mozzoni* (*). *È tanto più ragionevole mi è parsa questa limitazione, in quanto che la Fisica particolare è appunto quella che si va continuamente ampliando, e che perciò ha bisogno di nuovi trattati ad ogni breve periodo d'anni; laddove la Meccanica, per quanto almeno s'appartiene ad un Corso elementare, è un ramo di scienza omai giunto alla sua perfezione; e ne' diversi trattati che se ne possono comporre, non si può che modificare alcun poco il metodo per adattarlo ai particolari bisogni. Oltre a ciò nelle nostre scuole, per le quali specialmente ho procurato che potesse esser utile il presente lavoro, può ottimamente star separato un Corso di Fisica particolare da un Corso di Meccanica, stantechè l'insegnamento di questi due rami nella maggior parte de' Licei del Regno Lombardo-Veneto trovasi diviso.*

(*) Elementi di Fisica Generale *di Andrea Mozzoni. Milano*, 1822, *presso il Pirotta.*

Mi si presentava però una difficoltà; ed era che venendo cotali due rami di scienza studiati nelle nostre scuole contemporaneamente, mi era d'uopo rendere molto libero il legame che naturalmente gli unisce insieme, affinchè lo scolaro potesse agevolmente inoltrarsi nell'uno senza aver bisogno d'essere molto avanzato nell'altro. Per ottenere questo scopo ho fatto in modo che i primi capitoli del presente Corso, ad eccezione d'alcuni di que' paragrafi che sono stampati in carattere minore, non presuppongano cognizioni di Meccanica; e nel progresso ho procurato che se talvolta io m'appoggiava ad alcuna di tali cognizioni, questa fosse delle più semplici, talchè lo scolaro giunto a quel passo potesse già averla appresa nelle lezioni di questo ramo. Soltanto in diversi luoghi, p. e. nel parlare del peso assoluto de' corpi, nelle dottrine de' fenomeni capillari, ec., mi è stato forza valermi di alcuni principii di Idrostatica, i quali sogliono insegnarsi soltanto nelle ultime lezioni di Meccanica: questi però sono semplicissimi, e per dare tutto il rigore alla serie de' ragionamenti, non si ha che ad assumerli come verità date direttamente dalla sperienza.

Ho diviso l'opera in tre volumi. Il primo tratta delle proprietà riguardanti la materia pesante, vale a dire dell'Estensione, dell'Impenetrabilità, della Mobilità, dell'Attrazione sì universale che molecolare, e delle molte altre che da queste dipendono. Il secondo volume tratterà del Calorico; e il terzo verserà sugli altri tre principii imponderabili, l'Elettricità cioè, il Magnetismo, e la Luce.

In sul principio del primo volume, cioè nella Introduzione, *ho posta una classificazione delle scienze naturali, parendomi ch'ella possa giovare assai a mostrare lo scopo particolare della Fisica, e le sue numerose relazioni colle altre scienze; in quella guisa che la posizione e i confini di un regno vengono a*

conoscersi molto meglio quando si abbia una qualche notizia degli Stati che il circondano. E nel far questo mi son creduto autorizzato dall'esempio di chiarissimi autori, dell' Haüy (1), del Fischer (2), del Decandolle (3), ec.

Fra le dottrine dell'Attrazione universale ho posto un saggio di Astronomia, quale può essere appreso senza conoscere gran fatto la Meccanica. Io stimo che ne' Corsi Filosofici de' nostri Licei questa materia voglia essere conosciuta soltanto infino a quel punto ch'ella non abbisogna di calcolo, potendo studiarla più innanzi coloro che si applicano alla Matematica sublime; e presa dentro a cotali limiti m' è parso ch' ella potesse trovare conveniente luogo in questo volume.

Si troverà alla fine del volume medesimo un breve compendio di Chimica, nel quale ho procurato di raccogliere quelle cognizioni di questa scienza che sono indispensabili per un Fisico. Basterà esso per quelle persone che non vogliono interamente dedicarsi alle scienze naturali; e a quelli che vorranno fare uno studio più profondo della Chimica, esso faciliterà l' intelligenza dei Trattati fatti espressamente per questa scienza, i quali (è d'uopo confessarlo) sono generalmente stesi secondo un ordine assai difficile per chi non ha ancora veruna tintura di questa materia (4).

In quanto al modo generale di trattare la scienza, ho procurato di renderne più utile e più agevole lo studio, collo spargere l'opera di numerose

(1) Traité élémentaire de Physique. *Paris*, 1821.

(2) Fisica Meccanica tradotta dal Professore Rovida. *Milano*, 1823.

(3) Théorie élémentaire de la Botanique. *Paris*, 1819.

(4) *Vuol essere eccettuata la* Guida allo Studio della Chimica Generale *del Dottor Gaspare Brugnatelli* (*Pavia*, 1819) *composta appunto colla mira di evitare questo difetto.*

applicazioni ai fenomeni della natura e ai bisogni della vita. Avrei in vero potuto unire insieme i varii fenomeni naturali ed esporli a parte in sul fine del Trattato; ma questo metodo che io credo utile in un Corso approfondito della scienza, io nol tengo per tale in un Corso elementare destinato per la gioventù e dove di siffatte materie possono bastare le più importanti e quelle che giovano a rischiarare le astratte teoriche. Gli uomini in genere, e specialmente i giovani sono di tal tempra d'intelletto, che facilmente s'affaticano e s'annojano di una lunga serie di ragionamenti rigorosi ed astratti; e riesce perciò utilissimo il mescere a questi ragionamenti delle cose più facili e che siano meramente descrittive o meramente storiche; queste esercitando altre facoltà dell'animo, il lasciano riposare e prendere nuova lena, per poter quindi tornare alle dottrine più difficili. Si aggiunga che i giovani nel vedere a mano a mano le applicazioni delle verità che vengono imparando, si persuadono presto che la scienza non è soltanto speculativa nè fatta per soddisfare la sola curiosità, ma ch'ella è importantissima pel ben essere dell'uomo; e pigliano da ciò maggior premura e maggior piacere a continuarne lo studio.

Avendo qualche volta creduto opportuno di penetrare alquanto più addentro nelle dottrine, e di esporre cose più difficili di quello che comporti la mente de' principianti, ho distinto queste con un carattere di stampa più minuto. Potrà il leggitore in una prima lettura del libro passarle oltre, e fermarvisi poscia quando verrà a farne una seconda lettura.

Avvertirò per ultimo, che avendo io di mira che l'opera sia atta a servir di guida a chi studia la scienza sotto qualche precettore, sono stato piuttosto conciso in questo primo volume, specialmente nelle cose da molto tempo conosciute e che a qualunque precettore son note in tutta l'estensione: in queste lo

scolaro dovrà approfittare de' rischiaramenti che gli potranno esser dati a viva voce. La sperienza di alcuni anni mi ha fatto riconoscere utilissima questa fatica degli scolari: è dessa quella che fissa le cognizioni nel loro intelletto, e che fa veramente possedere la scienza.

INTRODUZIONE

1. Le scienze naturali o fisiche, vale a dire quelle che si aggirano intorno agli oggetti sensibili che ci attorniano, si possono comodamente ridurre alle sei seguenti: l'*Astronomia*, la *Geografia fisica* con alcune altre scienze affini, la *Storia naturale*, la *Fisiologia*, la *Chimica*, e la *Fisica*.

2. *L'Astronomia* ha per oggetto lo studio dei corpi celesti, ed è perciò quella scienza che contempla la natura nel suo più ampio aspetto. Ella abbraccia in fatti nelle sue ricerche tutto l'intero universo; ella esamina la struttura de' cieli, studia la disposizione, le distanze, le grandezze, i moti degli innumerevoli corpi che si trovano sparsi nell'immensità dello spazio. Considera ella anche la nostra terra, ma soltanto come corpo celeste, e non si trattiene che a determinarne le dimensioni, i moti, la posizione rispetto agli altri corpi celesti, l'azione attrattiva verso i medesimi.

3. *Succede* la Geografia Fisica, cioè quella parte di cognizioni geografiche che prescindendo dalle divisioni politiche e convenzionali del globo, nol considera che dall' aspetto fisico o materiale. Abbandonati tutti gli altri corpi celesti, restringesi questa ad esaminare la nostra terra, osserva minutamente come la parte asciutta della sua superficie sia limitata dai mari, interrotta dai laghi, solcata dai fiumi, e sparsa qua e là di ineguaglianze più o meno elevate; dove i mari sieno più bassi e dove più profondi; come essi sieno seminati d'isole; contempla ella inoltre i fenomeni più grandiosi che avvengono sul globo, i terremoti, i Vulcani, le maree, ec.

Affine a questa scienza, anzi quasi ramo di essa è la *Geognosia*, la quale internandosi sotto la superficie terrestre esamina come sia formata la parte accessibile della corteccia del globo, vale a dire qual sia l'interna struttura delle montagne, la stratificazione de' terreni a noi sottoposti, il modo in somma con cui trovansi disposti i materiali che compongono l'edifizio della terra.

Altra scienza affine si è la *Meteorologia*, la quale contempla i fenomeni che avvengono nell' atmosfera, i venti, le pioggie, le luminose apparizioni, ec.

4. Nel percorrere la superficie terrestre, noi vi incontriamo una quantità innumerevole di corpi distinti; e di minerali parte staccati e qua e là sparsi, parte uniti insieme e formanti la massa solida del globo; e di vegetabili che ne ricoprono e ne ornano il suolo; e di animali di mille forme, che sopra vi si muovono. Ora vi ha una vasta ed importantissima scienza, la quale esamina ad una ad una tutte le diverse sorte di questi corpi, le enumera, le distingue, le ordina; ed è questa la *Storia Naturale*, la quale si divide in tre assai estesi rami che sono la *Mineralogia*, la *Botanica*, la *Zoologia*.

5. Le scienze sopraddette si occupano nell' esaminare direttamente i diversi oggetti che esistono in natura. Nello studiare però intorno ad essi, e nel paragonarli insieme se ne sono ricavate molte cognizioni generali sulle proprietà di cui sono forniti e sulle forze che in essi operano, talchè sonosi formate diverse altre scienze. Si è in fatti riconosciuto che queste proprietà e forze non sono individuali, o proprie di ciascun corpo particolare e affatto differenti dall' un corpo all' altro, ma sibbene comuni o a tutti i corpi insieme o ad una grandissima serie di essi, salve talvolta alcune modificazioni dall' uno all' altro; e perciò si è potuto farsene delle nozioni generali applicabili colle debite avvertenze o ai corpi tutti o ad un grandissimo

numero. Esaminando poi più particolarmente queste proprietà e forze medesime si è osservato potersi esse distinguere in varie classi separate; e da ciò è venuto che le suddette generali cognizioni sonosi ripartite in più scienze distinte che sono la *Fisiologia*, la *Chimica*, e la *Fisica*.

6. Si è in primo luogo trovata questa principale distinzione, cioè che alcune di tali proprietà e forze si riscontrano unicamente nei corpi organizzati, e immediatamente scompariscono al distruggersi dell'organizzazione, e queste hanno dato origine alla Fisiologia; e che altre in vece sono inseparabilmente inerenti alla materia che compone i corpi, accompagnandola in qualunque stato, e non già dipendenti dall'aver ella piuttosto una che altra forma, dall'essere tali corpi piuttosto organizzati che inorganici, e queste hanno servito di soggetto ad altre due scienze, vale a dire alla Chimica e alla Fisica.

Per intender meglio una siffatta distinzione, immaginiamoci che dopo avere scomposto interamente un animale, un arboscello, una pietra, o altro corpo qualsivoglia, se ne venga da noi a ricomporre nuovamente la materia sotto altra forma. Cesseranno in esso la vita, i moti spontanei, e tutto ciò che in esso poteva esservi dipendente dall'organizzazione; cesseranno quelle forme e que' caratteri che il distinguevano dagli altri corpi, e ne facevano conoscere la specie; ma rimarranno intatte le proprietà di occupare spazio, di essere impenetrabile, di essere pesante, con un gran numero di altre. Ora la vita, la facoltà di muoversi spontaneamente, e in genere tutte le funzioni di cui quel corpo poteva essere capace pria di venir disfatto, e che non possono più repristinarsi nella sua nuova ricomposizione, appartengono alla Fisiologia. L'impenetrabilità al contrario, il peso, e in generale tutte quelle proprietà che al corpo non si possono togliere, e che sono annesse alla sua materia, e non già alla

forma secondo cui ella è disposta, o all'essere il corpo dotato o no di organizzazione, costituiscono l'oggetto delle due scienze Chimica e Fisica. Tali proprietà, che si possono perciò appellare *proprietà materiali*; od anche *inorganiche*, nei corpi inorganici sono le sole che si riscontrino, e però in essi si manifestano pure e genuine, e più facili a studiarsi; negli organizzati invece esse sono accompagnate con più altre che talora le modificano e le mascherano.

7. È dunque la Fisiologia *quella scienza la quale tratta delle funzioni che si eseguiscono negli esseri organizzati*, vale a dire degli effetti di quelle forze che sono proprie di questi soltanto. Siccome poi due classi vi hanno di esseri organizzati, i vegetabili cioè e gli animali, così questa scienza si divide in due rami o scienze minori che sono la *Fisiologia vegetale* e la *Fisiologia animale*. Ma fermiamoci (che ci sarà utile in seguito) a rischiarare alcun poco siffatta distinzione.

Oltre alle proprietà pertanto e alle forze che sono inseparabili dalla materia, riscontrasi nei vegetabili una forza detta la vitalità, della quale non è ben nota l'origine, ma da cui derivano diverse funzioni che servono parte all'accrescimento e alla conservazione del vegetabile, e parte alla sua riproduzione; tali sono, p. e., la circolazione degli umori, la fioritura, ec. Ora di queste tratta la Fisiologia vegetale.

Negli animali si riscontra una numerosa classe di funzioni che sono del tutto analoghe a quelle de' vegetabili, la digestione, p. e., la circolazione del sangue, ec. Queste costituiscono ciò che si appella la vita vegetativa degli animali, e si attribuiscono esse pure ad una forza distinta detta vitalità. Ma esiste in questi esseri un'altra sorgente di fenomeni: posseggono essi la facoltà di *sentire*, vale a dire di accorgersi delle modificazioni che avvengono nella materia di cui sono composti, e quella di *operare* cioè di produrre nella loro macchina corporea i diversi moti volontarii. Le

quali due facoltà si dimostrano dai Metafisici dipendere da un principio immateriale detto *anima*, il quale trovasi in questi esseri associato alla parte materiale e sensibile, ed è quello che riceve le sensazioni e da cui partono in certo modo i comandi. E a queste due classi di operazioni, nell'una delle quali il principio immateriale è passivo, e nell'altra attivo, trovansi destinati nella parte materiale diversi organi, l'ufficio de' quali cade nel dominio delle scienze naturali, e forma anch'esso parte, della Fisiologia animale. Questa pertanto ha una parte comune colla Fisiologia vegetale, ed una che è sua propria; versa la prima sulle funzioni, che sono semplicemente vitali, e la seconda su quelle che servono alle sensazioni ed al moto.

Queste ultime funzioni però, interessando anche il principio immateriale, appartengono altresì per un certo aspetto ad una delle scienze morali cioè alla Psicologia.

8. Le proprietà che rimangono alla materia dopo spogliata di quanto può aver ricevuto dall'organizzazione, si dividono anch'esse in due classi, e danno origine a due scienze distinte.

Alcune di tali proprietà sono più interne e più recondite, consistendo in azioni vicendevoli, che le minime molecole d'una sostanza operano su quelle di un'altra, e dalle quali nascono de' fenomeni meno percettibili ai sensi e soltanto riconoscibili per indizii dati da altri fenomeni secondarii, p. e. dal cangiamento di colore, di consistenza, ec. Tal è la proprietà che ha il carbone di unirsi con quel componente dell'aria atmosferica che dicesi *ossigeno*, ossia di *bruciare:* avviene quest'unione per un'azione attrattiva a minime distanze fra le piccolissime molecole dell'una sostanza e quelle dell'altra, azione che determina le prime a congiungersi colle seconde; nè siffatta unione è palese, ma soltanto, quando ella si effettua, noi n'abbiamo sintomo dal calore che si svi-

luppa, dalla luce, dall'apparente distruzione del carbone. E queste proprietà sono quelle intorno a cui si trattiene la Chimica, la quale si può chiamare *la scienza che tratta delle vicendevoli azioni degli elementi de' corpi.*

9. Altre di tali proprietà sono in certo modo più esteriori, manifestandosi da lontano e all'esterno dei corpi, senza che occorra scomporre questi ed esaminarli internamente, per poterle riconoscere. Tali sono le proprietà già menzionate dell'essere i corpi dotati di estensione, di impenetrabilità, di peso, quelle dell'essere essi mobili, di attraersi vicendevolmente in distanza, di respingersi se sono similmente elettrizzati, di dilatarsi pel calore, di lasciarsi attraversare dalla luce, ec. E queste sono quelle che formano l'oggetto speciale della Fisica, la quale si può definire *quella scienza che considera le proprietà e le modificazioni che si osservano all'esterno dei corpi dipendentemente dagli attributi della materia inorganica.*

La Fisica e la Chimica però sono sì vicine e sì strettamente fra loro congiunte, che non solo è impossibile di approfondirsi nell'una senza avere una non mediocre cognizione dell'altra, ma altresì vi hanno materie che appartengono simultaneamente ad ambedue, quali sono le idee sulla costituzione dei corpi, e i diversi effetti dell'attrazione molecolare e del calorico; per cui la linea di separazione fra queste due scienze in alcune parti non è ben chiara e determinata.

10. In generale tutte queste scienze hanno fra loro una grandissima dipendenza, siccome quelle che propriamente altro non sono che ramificazioni di una sola vastissima scienza, la quale abbraccia la contemplazione di tutte le cose create, ma che per la debolezza dell'umano intelletto è convenuto dividere in molte parti. Cominciando in fatti dalle ultime, abbiamo già veduto non potersi ben conoscere la Chi-

mica senza aver cognizione della Fisica, nè bene apprendere questa senza nozioni di quella. Tutte e due poi sono indispensabili al Fisiologo mentre studia gli effetti della vitalità, essendo quelle che ne' fenomeni dei corpi organizzati gli insegnano a segregare quello che è semplicemente dovuto alle forze proprie della materia da quello che è una conseguenza della vitalità medesima; in fine le cognizioni Fisiche e Chimiche, e quelle riguardanti la suddetta vitalità sono necessarie a poter rettamente spiegare negli animali i moti volontarii e le sensazioni, affinchè non si venga ad attribuire alla presenza del principio immateriale ciò che è un semplice effetto delle forze vitali o di quelle inerenti alla materia (*).

Volgendoci poi alle altre, l'Astronomia teorica reggesi su dottrine della Fisica, cioè sulle leggi generali del moto, e su quelle particolari della gravitazione. La Fisica somministra le spiegazioni de' fenomeni meteorologici, e di quelli che vengono considerati nella Geografia Fisica, come pure di alcuni fatti della Geognosia, di pochi ancora a dir vero, attendendo presentemente questa novella scienza a raccogliere de' fatti, e lasciando a miglior tempo la ricerca delle loro ragioni. Alcuni altri di questi fatti vengono spiegati dalla Chimica, la quale però serve principalmente a dar lume alla Mineralogia, di cui presentemente si è fatta indivisibile compagna. La Fisiologia vegetale poi è indispensabile al Botanico, siccome la Fisiologia animale a chi studia Zoologia.

11. I fini a cui tendono tutte queste scienze sono principalmente due. L'uno si è di somministrare delle cognizioni utili pei bisogni e pei comodi della vita, e di porger lumi alle diverse arti, le quali sono appunto destinate a soddisfare questi bisogni e a pro-

(*) V. Decandolle, *Théorie Élémentaire de la Botanique*. Paris, 1819, p. 6.

curarci questi comodi. Nell' ordine sociale sono le scienze naturali in certo modo gli occhi corporei, siccome le arti sono le mani, e le scienze morali la mente.

L'altro fine si è di farci riconoscere nelle ammirabili leggi che reggono l'universo una infinita saggezza e provvidenza, e quindi un Creatore sapientissimo, possentissimo, ottimo. E così queste scienze concorrono con le morali a persuader l'uomo dell'esistenza di Dio, e a infondergli sensi di venerazione e di amore verso di lui.

Sì importanti essendo cotali scienze all' umana società, volle il benefico Creatore spargerne lo studio di un soave diletto, e fare l' intelletto nostro avido del loro acquisto, allo scopo che dolce ce ne riescisse la fatica, e l' uomo più facilmente conseguisse questi mezzi del suo ben essere. Di qui un altro vantaggio di queste scienze, benchè secondario, ed è che elle possono servire di onesto e piacevole trattenimento. Leggiamo di molti degli antichi Romani, a cagion d' esempio di Plinio il vecchio, che allorquando le cure dello Stato e della guerra lor lasciavano qualche ozioso intervallo, si occupavano appunto nelle scienze. E presso Virgilio uno de' trattenimenti che Didone offerse all' ospite Enea si fu il canto di quel crinito Jopa, il quale

> . . . . . *cithara* . . . .
> *Personat aurata docuit quae maximus Atlas,*
> *Hic canit errantem Lunam, etc.* (*)

12. Quanto si è fin qui detto sulle scienze naturali in genere credo che basti per farci conoscere l' oggetto particolare della Fisica e le sue relazioni colle altre scienze, e in qualche parte anche la sua importanza. Intorno a questo ultimo punto però, es-

(*) *Aencid.* I, v. 744 e seg.

sendo questa la scienza di cui dobbiamo occuparci, reputo giovevole fermarmi ancora alcun poco.

Servendo la Fisica a rischiarare, quale più, quale meno, la Chimica, l'Astronomia, la Mineralogia, in somma tutte le scienze naturali, ella ha la sua parte in tutti gli innumerabili vantaggi che da queste scienze derivano alla Società. Altri molti gliene procura direttamente essa medesima. Somministra ella in fatti moltissime macchine e strumenti per le arti e per gli usi della vita, e cannocchiali, e microscopii, e bussole, e leve, e strettoi, e taglie, e trombe idrauliche, e termometri, e macchine a vapore, ec. ec. A molte arti ella insegna importantissimi precetti, p. e. all'Architettura sì civile che navale ed idraulica mostra come si possano fabbricare robusti e durevoli edificii; in molte ella rinviene le ragioni di diverse pratiche trovate dall'esperienza, recandone parecchie a maggior perfezione, nella nautica, p. e., nella musica, nella pittura. Lascio di più estendermi intorno a questi suoi beneficii, che lunghissima cosa sarebbe il volerli tutti annoverare; siccome pure non mi diffonderò a mostrare come ella, al pari delle altre scienze naturali, possa riuscire dilettevole collo spiegarci molti curiosi e sorprendenti fenomeni, e sia atta ad infonderci un' alta idea dell'Ente Supremo. Si vedranno molte di queste cose nel seguito dell' opera, dove io avrò sempre cura di accennare le utili applicazioni delle diverse dottrine che andrò esponendo.

13. La divisione della Fisica che da noi si è seguita, è quella di incominciare a farne due gran parti, nell'una delle quali si comprendono tutte quelle materie che amano di essere trattate coll'ajuto delle matematiche, e nelle quali le sperienze non servono che a comprovare e a rendere più manifeste ai sensi le verità ritrovate; e nell'altra in vece vengono comprese quelle altre che preferiscono di essere studiate colle osservazioni e colle sperienze.

La prima di queste parti, che si può appellare la *Fisica Matematica*, in un Corso elementare di studii qual è il nostro, si riduce alla sola *Meccanica*, vale a dire allo sviluppo de' fenomeni dipendenti dalla proprietà della *Mobilità*. E noi non ce ne occuperemo, avendo su tale argomento una pregevole opera nella *Fisica generale* del ch. professore Mozzoni.

La seconda che suole chiamarsi la *Fisica Sperimentale* abbraccia tutte le altre parti della scienza, escluse soltanto le dottrine più elevate, le quali vorrebbero il soccorso delle matematiche. E questa è quella che forma l'oggetto di questo nostro Trattato.

Noi la suddivideremo nelle seguenti sei sezioni:

I. Delle proprietà più generali dei corpi.
II. Dell'Attrazione.
III. Del Calorico.
IV. Dell'Elettricità.
V. Del Magnetismo.
VI. Della Luce.

SEZIONE PRIMA

DELLE PROPRIETÀ PIÙ GENERALI DE' CORPI

CAPO PRIMO

NOZIONI PRELIMINARI

1. Intendesi per *corpo* ogni distinto oggetto, il quale ci si manifesti per mezzo di impressioni sui nostri sensi. Tal è un animale, una pietra, un astro.

2. Distinguono i Naturalisti tre gran classi di corpi, *minerali, vegetabili, animali.* I minerali mancano di vita, vale a dire non sono soggetti ad altre mutazioni che a quelle che vengono determinate da cause esteriori, senza le quali si manterrebbero perpetuamente ed inalterabilmente nel medesimo stato; e risultano semplicemente da aggregazione esterna di parti collocate le une accanto alle altre: questi si dicono anche corpi *inorganici.* I vegetabili e gli animali che con nome comune diconsi corpi o esseri *organici,* crescono per interna nutrizione, e durante la loro esistenza o *vita* presentano una continua serie di mutazioni dipendenti da una particolar forza in essi esistente e che dicesi *vitalità;* infine sono soggetti a *morte.* Vi ha poi fra gli animali e i vegetabili questa differenza, che i primi sono dotati di moto spontaneo e di sensibilità, laddove ne' secondi mancano i moti spontanei, e di sensibilità non si ha indizio veruno.

3. Chiamasi col nome generico di *materia* tutto ciò che vi ha nei corpi di sensibile o atto a produrre impressione sui sensi. Ne' minerali altro noi non cono-

sciamo esistere che la materia; ne' vegetabili vi ha altresì la forza della *vitalità*, secondo però l'opinione di quelli i quali ritengono non risultare questa dalle forze proprie della materia, ma essere nuova e da esse affatto distinta; negli animali oltre alla materia ed alla vitalità, avvi, per quello che si deduce da molte ragioni metafisiche, un principio immateriale o non soggetto ai sensi che dicesi *spirito* od *anima*, ed alla cui presenza si attribuisce la sensibilità e il moto spontaneo.

4. Quando si vuole usare rigor di termini, si suol chiamare negli animali e nei vegetabili col nome di *corpo* la porzione di materia che li compone, prescindendo dalla forza della vitalità di cui tanto gli uni che gli altri sono dotati, e dal principio immateriale che ritrovasi nei secondi. E nel caso che vi si vogliano computare anche queste cose, e comprendere insieme tutto quello che è proprio del vegetabile e dell'animale, si dà loro il nome più generico di *esseri* o *enti* (*); e così si dice *essere* o *ente organico*, *essere animale*, *essere vegetabile*. Vi considera però la Fisica solamente la parte materiale o corporea, lasciando ad altre scienze ciò che a questa può essere associato.

5. La materia, per quanto finora si è potuto riconoscere, non è tutta omogenea, ma di molte specie, e queste si dicono *sostanze*. Deesi perciò far questa distinzione fra i termini *corpo* e *sostanza*, che il primo significa *un particolare aggregato di materia*, e il secondo *una particolare qualità di materia*. Parecchie monete sono più corpi distinti, l'oro, l'argento, e il rame sono tre sostanze diverse.

6. Soglionsi ammettere dai Fisici due classi di sostanze materiali, le *ponderabili* cioè e le *imponderabili*.

Le sostanze ponderabili sono quelle moltissime, le

(*) Decandolle, *Théorie*, etc., p. 4, lin. 8.

quali mostrano la proprietà di essere pesanti: queste si manifestano ai nostri sensi in molte guise; sono tutte soggette al tatto, e la maggior parte anche alla vista, sono impenetrabili, come vedremo, coercibili, ec. Tali sono quelle menzionate poc'anzi.

Le sostanze imponderabili, secondo quelli che le credono cose esistenti da sè, sono alcune altre poche dove non si è potuto riconoscere peso sensibile. Esse non sono soggette al tatto, nè coercibili; in generale sono assai poco soggette ai sensi, non manifestandosi per lo più che da alcuni effetti prodotti sulle altre sostanze. E sono le quattro *Calorico*, *Luce*, *Elettricità*, *Magnetismo*. Non si sa però se tutte sieno fra loro essenzialmente diverse, e sull'intima loro natura vi ha grande oscurità; ad ogni modo esse hanno proprietà differentissime da quelle delle sostanze pesanti: onde per maggiormente separarnele, d'ora innanzi le chiameremo più comunemente *principii imponderabili*.

Vi ha sempre in ciascun corpo e delle une e delle altre; però le prime si riguardano come le più essenziali, e le seconde soltanto come accessorie o accidentali.

7. Le proprietà e i fenomeni che i corpi ci presentano, e le loro leggi, e le loro cagioni noi le studiamo in tre modi, coll'*osservazione*, colla *sperienza*, e col *raziocinio*.

8. L'osservazione consiste nell'attento esame di quelle proprietà e di quei fenomeni che la natura spontaneamente ci presenta. Gli Astronomi fanno sui corpi celesti delle *osservazioni*; poichè non è in loro potere di far muovere gli astri in questo, o in quel modo; essi non fanno che considerarli attentamente quali lor sono mostrati dalla natura.

9. La sperienza sta nel far nascere noi medesimi de' fenomeni, e nell'esaminarli poscia attentamente. Sono sperienze quelle che fannosi nelle scuole di Fisica,

p. e. quella di far trapelare il mercurio dal legno, affine di mostrare la porosità di quest' ultimo. Dicono taluni molto sensatamente, che colle sperienze noi interroghiamo la natura, laddove colle osservazioni non facciamo che ascoltarla.

10. Il raziocinio in fine è quello che da alcune proprietà e da alcuni fenomeni provati coll' osservazione o colla sperienza ne deduce una lunga serie di legittime conseguenze. A cagione d' esempio tutto quel ramo di Fisica che appellasi la *Meccanica* si può far dipendere da pochissimi principii fondamentali che diconsi le *leggi del moto*. Siccome poi il raziocinio senza altro ajuto che quello della comune sana logica, non potrebbe condurre molto innanzi il filo delle conseguenze; così egli si serve con grandissimo vantaggio del soccorso delle matematiche.

11. Di qui hanno origine due metodi di trattare la Fisica, lo *sperimentale* cioè e il *matematico*. Il metodo è sperimentale quando la scienza viene studiata od insegnata per mezzo delle osservazioni e delle sperienze, ossia colla considerazione diretta dei fenomeni della natura. Ed è matematico quando le proprietà e i fenomeni che in date circostanze debbono presentare i corpi, vengono dedotti per mezzo di ragionamenti matematici. Ambedue questi metodi hanno i loro particolari vantaggi: l' uno può determinare rigorosamente le leggi e tutte le particolarità dei fenomeni e prevederne dei nuovi; l' altro rappresenta le cose più vivamente all' immaginazione, e spesse volte soccorre alla debolezza dell' umana ragione. Tutti i rami poi della Fisica sono capaci qual più qual meno dell' uno e dell' altro; però il trattato della meccanica si presta più comodamente al metodo matematico, e gli altri rami allo sperimentale.

12. Nel metodo matematico basta il solo retto uso della ragione; nello sperimentale è altresì indispensabile quello de' sensi; e spessissime volte questo non

basta, ma si ricercano eziandio altri sussidii materiali, cioè delle *macchine*, degli *strumenti*, degli *apparecchi*, ed altri simili oggetti, i quali fra tutti costituiscono la *suppellettile* di un gabinetto fisico. Diconsi *macchine* de' complicati congegni, i quali messi in moto da qualche agente servono alla produzione di qualche fenomeno: tali sono la macchina pneumatica, la macchina elettrica, la macchina a vapore. Se gli ordigni destinati a qualche operazione sono più semplici soglionsi dire *strumenti* od *utensilii;* tali sono i martelli, le lime, ec.: il nome però di strumenti si applica anche a quegli ordigni poco complicati, i quali non servono a produrre i fenomeni, ma solamente ad esplorarli, come il termometro, il barometro, il microscopio, ec.: in genere sono gli strumenti de' mezzi materiali non molto complicati coi quali noi ajutiamo i nostri sensi o la nostra mano. Gli *apparecchi* sono combinazioni di diversi oggetti destinati ad una qualche sperienza.

13. Fra le proprietà riconosciute ne' corpi co' suddetti mezzi, quelle che sono del dominio della Fisica appartengono una parte più particolarmente alla materia pesante, una parte ai principii imponderabili.

Le prime, che altri potrebbe anche chiamare le *proprietà permanenti dei corpi*, perchè più stabili delle altre e non dipendenti dall' accidentale e fugace azione de' principii imponderabili, si possono derivar tutte da quattro principali o fondamentali che sono l' Estensione, l' Impenetrabilità, la Mobilità, l' Attrazione.

Fra queste poi l'Estensione, l'Impenetrabilità, e la Mobilità formano quasi una classe a parte, siccome quelle che sono più essenziali e più necessarie alla materia, e che si manifestano le prime ai sensi. L' attrazione in vece è meno essenziale, potendo benissimo (per quanto almeno sembra alla nostra ragione) una porzione di materia esistere e produrre impressione sui nostri sensi, anche mancando di tale proprietà.

Ne' fluidi aeriformi in fatti non si manifesta l'attrazione molecolare, eppure essi sono sensibili al pari degli altri corpi, e rimarrebbero ancora tali, se anche cessassero di essere sottomessi all'attrazione universale.

Noi comprenderemo insieme le prime tre con quelle che ne dipendono sotto il nome di *proprietà più generali* de' corpi, e ne formeremo l'oggetto di questa prima sezione; parleremo nella seconda dell'attrazione, riserbando le seguenti alle proprietà de' principii imponderabili.

CAPO II.

DELL' ESTENSIONE, E DI DIVERSE PROPRIETÀ E NOZIONI DA ESSA DIPENDENTI

14. La prima proprietà che i corpi ci presentano è l'Estensione. Noi veggiamo esaminandoli che ciascun d'essi esiste colle sue diverse parti in diversi luoghi dello spazio, o per dirlo in altri termini che la materia ond'è composto, si trova diffusa in una porzione di spazio, non già concentrata in un punto matematico; e questo spazio è limitato tutto all'intorno, ed è uno spazio solido, non lineare o superficiale. Ciò è quello che costituisce la proprietà dell'*Estensione*, la quale si definisce per *quella proprietà che hanno tutti i corpi di occupare una porzione di spazio.*

Della Figura.

15. Chiamasi *Figura* la particolar maniera con cui è esteriormente terminata l' estensione di un corpo, ossia la particolar forma che ha la sua superficie.

16. La figura de' corpi può variare all' infinito, nè v'hanno in natura due corpi che abbiano perfettamente la figura medesima; due uova, due formiche, due api, due foglie d' una stessa pianta, per quanto

similissime ci sembrino, hanno nulladimeno sempre qualche differenza.

17. Anzi un corpo medesimo non conserva costantemente la stessa figura. I vegetabili la vanno continuamente mutando; gli animali similmente, e ancor più, essendo soggetti e a quelle mutazioni che derivano dalle funzioni involontarie, e a quelle altresì che sono determinate dai moti volontarii. Ella è più stabile nei minerali, quando specialmente si tengano difesi dalle ingiurie degli agenti esteriori. Però le grandi masse inorganiche sono anch' esse soggette ad alterazioni. Le montagne vanno per molte cagioni mutando insensibilmente figura e per lo insinuarsi e il gelar delle acque che ne staccano continuamente dei pezzi, e pel discendere di questi pezzi colle nevi, colle dirotte piogge ed anche dal semplice peso, e per la forza corroditrice de' torrenti che vanno approfondendo sempre più le lor valli, e talora eziandio pe' Vulcani e pe' tremuoti che vi producono de' cangiamenti. Anche le colline a poco a poco per le medesime cagioni si abbassano. I fiumi mutando sovente i loro alvei, e deponendo qua e là i materiali levati, cangiano del continuo la forma delle pianure, e trasportando molti di questi materiali fino alle loro imboccature riempiono i laghi e allontanano i lidi dei mari.

18. Però, tornando ai piccoli corpi, malgrado che essi abbiano tutti una figura particolare, si osservano molte serie di essi con delle grandi rassomiglianze, sì fra gli animali e i vegetabili, che fra i minerali; p. e. tutti i cavalli, tutte le quercie, tutti i cristalli di rocca si rassomigliano grandemente fra loro. I corpi della natura si possono distinguere in tanti particolari aggregati, in ciascuno de' quali gli individui differiscono fra loro pochissimo, essendovi in vece de' salti notabili dall' uno aggregato all' altro: questi aggregati poi sono le *specie* de' naturalisti.

19. Possiamo riferire alla figura la distinzione de' tre *stati* dei corpi. Sono essi i tre *solido*, *liquido*, ed *aeriforme*. Diconsi *solidi* i corpi, o allo stato solido, quando hanno le parti così fortemente fra loro connesse che non possono senza uno sforzo notabile cangiarsi di figura; tali sono le pietre, i legni, ec. Diconsi *liquidi* o allo stato liquido, quando in vece hanno le parti sì slegate che per ogni piccola forza mutano figura, e insieme hanno la proprietà di non poter essere ridotti ad uno spazio sensibilmente minore; tali sono l'acqua e il mercurio. Finalmente si dicono i corpi essere allo stato *aeriforme*, allorchè hanno le parti slegate al pari de' liquidi, ma di più per mezzo della compressione si possono restringere ad uno spazio notabilmente minore; tal è l'aria comune e molte altre sostanze ad essa simili. Sì questi ultimi corpi poi che i precedenti appellansi col nome comune di *fluidi*, attesa la proprietà che hanno in comune di avere le parti slegate.

20. I fluidi sieno essi liquidi od aeriformi non hanno figura determinata, ma la ricevono dalla forma ed anche dalla posizione del vaso che li contiene; ce ne possono dare esempio dell'acqua contenuta in un vaso, o dell'aria racchiusa in una vescica flaccida. Ed è raro che si chiamino col nome di *corpi*; ma una determinata porzione di una sostanza liquida od aeriforme si chiama piuttosto una *massa* liquida, una *massa* aeriforme.

Della Divisibilità.

21. La Divisibilità è quella proprietà che hanno i corpi di poter essere divisi in più parti. Ella è una conseguenza dell'Estensione, poichè un corpo appunto per essere esteso si può concepire distinto in più parti, separabili l'una dall'altra per mezzo di una forza a ciò sufficiente.

Si distinguono due maniere di Divisibilità, la geometrica o mentale, e la fisica od effettiva.

22. La Divisibilità mentale o geometrica è quella di potere col pensiero concepir distinto un corpo in più parti. Questa è illimitata, come si può in più maniere dimostrare. Ecco una di queste dimostrazioni.

Si descrivano due rette AB, CD (Vedi fig. 1.) parallele, e dall'una all'altra se ne conduca una terza EF. Nella prima AB si prenda un punto G situato alla sinistra della EF, e nella CD alla destra di EF si segni una serie di punti H, I, K, L, ec. equidistanti fra loro, e l'uno successivamente più lontano dell'altro dal punto F ove termina la EF; e quindi si conducano le rette GH, GI, GK, GL, ec. Queste segheranno tutte la EF in punti distinti; e siccome la FD si può prolungare illimitatamente, e similmente si può aumentare oltre ogni limite il numero de' punti H, I, K, ec. così non vi ha neppur limite al numero delle parti in cui può dividersi la EF.

Rimane con ciò dimostrata la illimitata divisibilità di una retta matematica. Per provarla in un solido cioè in un corpo che possa avere esistenza fisica, si immagini formato intorno alla EF come asse un sottile cilindretto, e questo si concepisca segato in diverse parti per mezzo di piani passanti per le rette GH, GI, GK, ec. e perpendicolari al piano delle due parallele. Avrassi con ciò il cilindretto stesso distinto in un numero di parti, che potrà rendersi maggiore di qualsivoglia assegnato limite.

23. Sogliono molti esprimere la dimostrata verità dicendo che la divisibilità geometrica *va all' infinito*. Io preferisco dire ch' ella è *illimitata*, per ischivare il pericolo di non essere ben inteso. Perciocchè alcuni metafisici mal comprendendo l'intenzione dei matematici, allorquando questi dicevano che la divisibilità geometrica va all'infinito, supponevano in essi la pretensione di voler dimostrare la possibilità di

avere effettivamente un corpo distinto in un numero infinito di parti, cosa che facilmente essi metafisici provavano assurda. Ma essi non bene comprendevano il concetto de' matematici; poichè la verità che questi intendevano provare, si è che il *numero delle parti ottenute colla divisione geometrica, noi possiamo ingrandirlo oltre a qualsivoglia limite che altri anticipatamente ci assegni, senza però che mai arrivi ad essere attualmente infinito.*

24. La Divisibilità fisica o effettiva consiste nel potere non solamente distinguere in un corpo più parti, ma altresì disgiungerle ed allontanarle le une dalle altre. Questa non si può dimostrare illimitata, poichè non possiamo accertarci che giunte esse parti a qualsivoglia piccolezza, possano sempre i mezzi naturali ulteriormente dividerle. Si hanno però prove che assicurano potersi anche questa divisione effettiva spingere ad un segno portentoso.

25. Cominciando dalle maniere meccaniche, noi sappiamo che macinando i corpi o pestandoli si possono ridurre in polvere sì sottile da aversene de' grani ad uno ad uno invisibili. Il coltello di Cumming sega i legni in lamine della grossezza di $\frac{1}{1000}$ ed anche di un $\frac{1}{3000}$ di pollice (*). I battitori d'oro riducono un grano di questo metallo in una foglia dell' estensione superficiale di 50 pollici quadrati, dai quali, supposto che il pollice lineare si possa dividere in 192 parti visibili ad occhio nudo, se ne potrebbero ricavare 1843200 parti visibili. I filatori d'oro con sei once di questo metallo riescono a coprire un filo d'argento per la lunghezza di 222000 tese. Wollaston riescì ad ottenere de' fili di platino della sottigliezza di $\frac{1}{1800}$ di millimetro, cioè tali che con un mezzo chilogrammo si cingerebbe tutto il globo ter-

(*) Poli, *Fisica.* Venezia, 1804, t. I, p. 29.

racqueo (*). Assottigliava egli un cilindro d'argento che aveva un filo di platino nell' asse, e faceva quindi disciogliere il primo coll'acqua forte.

26. Altre prove le abbiamo dalle sostanze coloranti. Un grano di cartminio può tingere sensibilmente in rosso 30 libbre francesi di acqua ossia 276480 grani.

27. Parecchie sostanze odorose, quale sarebbe il muschio, riempiono di odore per molti anni una camera, imbevendone tutta l'aria che in questo intervallo di tempo vi si va rinnovando, senza che esse scemino per ciò sensibilmente di peso.

V' ha però chi crede che certi particolari odori, e fra essi appunto quello del muschio, non sieno già emanazioni dei rispettivi corpi odorosi, ma bensì modificazioni dell' aria determinate dalla presenza di que' corpi, quali potrebbero essere delle particolari chimiche combinazioni di parte degli elementi di essa aria.

28. De' maravigliosi esempii di piccolezza di parti si hanno dalle osservazioni microscopiche. Molte ne riporta Hook con belle figure nella sua Micrografia, fra le quali meritano d'esser vedute quelle della muffa, della pulce, del pidocchio, degli insetti del formaggio, degli occhi e de' piedi della mosca. Si vede quivi con quanta diligenza sieno lavorate le opere della natura anche negli oggetti più piccoli e più inosservati, laddove quelle dell' arte guardate col microscopio appajono del tutto grossolane e piene di irregolarità; un sottile ago da cucire somiglia ad un informe palo, il filo di un finissimo rasojo sembra una costa di un coltello tutta piena di ineguaglianze, una stoffa di seta ha l'apparenza di una rozza stuoja. Molte di tali osservazioni furono altresì fatte da Leeuwenhoek, da Joblot, e da altri. Dice il primo di questi di avere scoperti degli animaletti sì minuti, che

(*) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXII, p. 113.

più milioni di essi presi insieme appena uguaglierebbero un granello d' arena. Ponendo a macerare nell' acqua diversi vegetabili ne nascono de' singolarissimi e minutissimi animaletti detti *infusorii*, di diverse forme secondo la qualità del vegetabile adoperato, di molti dei quali se ne possono vedere le descrizioni presso Joblot (1). Se ne sogliono vedere anche nell' aceto che sia rimasto qualche tempo scoperto; questi però si possono osservare anche ad occhio nudo, guardandoli per trasparenza contro un lume acceso, e sono tante sottili e vivacissime anguillette. Il sangue umano è composto di una quantità innumerabile di globetti rossi nuotanti in una materia sierosa, ciascuno de' quali osservato con un potente microscopio si trova essere un disco circolare schiacciato, formato d' una pellicola colorata con un granellino bianco contenuto nel mezzo che la tiene alquanto rilevata. Alcuni animali hanno questi dischi non già circolari ma ovali, altri gli hanno rotondi come l' uomo ma d' altra grandezza; in generale una specie d' animali gli ha più grandi, un' altra più piccoli (2).

29. La più grande sottigliezza poi che siasi misurata è forse quella delle macchie nere che si osservano nella parte superiore delle bolle di sapone quando sono presso al rompersi; in queste la lamina acquea ha appena, secondo Newton, la grossezza di un milionesimo di pollice inglese.

30. Ma fino a qual segno si potrà spingere questa divisione effettiva? Si potrebbe mai continuarla essa pure indefinitamente? Nulla possiamo, come dissi, asserire del certo. Secondo però una opinione assai probabile di Newton, ammessa presentemente dalla

(1) *Observations d'Histoire naturelle faites avec le microscope, par M. Joblot, Paris chez Briasson*, 1754.

(2) *Bibliothèque Universelle, Sciences et Arts*, t. XVII, p. 258.

maggior parte dei Fisici d' Italia e di Francia, la divisibilità effettiva avrebbe un confine, oltre al quale coi mezzi della natura non si potrebbe più continuarla; perocchè si arriverebbe a particelle dotate di tale consistenza da resistere ad ogni forza che tentasse spezzarle.

Questo grand' uomo ed i suoi seguaci riguardano i corpi siccome formati dall' unione di tante minime particelle estese, solide, impenetrabili, e cotanto dure, che le forze della natura possono bensì disgiungerle le une dalle altre, ma non ispezzarle nè logorarle giammai; il che fa che col lungo scorrere de' secoli gli elementi della materia non vengano mai ad alterarsi (*). Di tali particelle poi ne ammettono diverse specie, riputando perfettamente uguali fra loro in grandezza, in peso, in figura, e in ogni altra proprietà tutte quelle che appartengono a una medesima sostanza semplice, ma stimando che sieno differenti dall' una sostanza semplice all' altra, e però di più specie quelle che trovansi in ogni sostanza composta. E le ritengono tutte di una tale piccolezza da sfuggire ad ogni più acuto microscopio, e ad ogni altro nostro attual mezzo di valutare le grandezze. E le chiamano *atomi*, o *particelle elementari*, o *molecole elementari* dei corpi.

Questo è il sistema o ipotesi degli *atomisti*, il quale fra tutti quelli che sonosi immaginati sulla costitu-

(*) « Pare dai fatti, dice il Biot, che sul nostro globo le « molecole materiali nè si spezzino, nè si alterino, nè si tras- « mutino le une nelle altre. Perciocchè venendo esse assoget- « tate a qualsivoglia operazione chimica, entrando a far parte « di qualsivoglia combinazione, provando qualsivoglia assimi- « lazione entro ai corpi organizzati, sempre n'escono colle loro « proprietà primitive. Nè l'infinita varietà di cotali operazioni, « che su d'esse hanno operato dacchè il mondo esiste, sembra « aver prodotto su queste proprietà alterazione veruna. *Traité de Physique expérimentale et mathématique*, t. I, p. 5. » Veggasi anche la XXXI delle Questioni Ottiche di Newton.

zione della materia è il più facile a concepirsi, e il più consentaneo ai fenomeni della natura. Intorno ad esso noi aggiungeremo ancora qualche cosa, quando parleremo della cristallizzazione e delle Affinità Chimiche.

Della Porosità.

31. La Porosità è una proprietà dei corpi consistente in ciò che dentro allo spazio contenuto dalla loro superficie apparente esistono molti pori o interstizii privi della sostanza onde tali corpi sono composti.

Di questa proprietà riguardo a molti corpi ce ne fa testimonianza l'occhio, p. e. nelle spugne, nelle pomici, ec. In molti ella si manifesta per mezzo del microscopio; a cagion d'esempio nel sughero, nel carbone, nelle foglie di bosso, ec.

32. In altri ella si prova per mezzo di diverse sperienze. Colla macchina pneumatica si fa trapelare il mercurio dal fondo di una scodella di legno facendovi sotto il voto, il che riesce ancor meglio sostituendo una pelle in luogo di quel fondo di legno. Colla macchina medesima si fanno uscire delle bollicine d'aria da pezzetti di legno, da pietre, da un uovo, ec., il che si ottiene ponendo questi corpi nell'acqua tanto ch'ella vi soprannuoti, e quindi facendovi di sopra il voto.

33. E quello che è più singolare, escono cotali bollicine per mezzo della macchina anzidetta anche dall'acqua pura, quando non sia stata bollita, ovvero, se ha sofferto questa operazione, quando poi sia stata lungamente esposta all'aria libera. Dal che si ritiene da molti che anche l'acqua abbia i suoi pori ove quell'aria possa annidarsi. Quest'aria poi è quella che si svolge nell'acqua attinta d'estate dai pozzi e recata in luogo caldo, dove si vede dopo qualche tempo che ella tap-

pena in forma di bollicine l'interna superficie dei recipienti. Ciò avvien pure allorquando si riscalda l'acqua sul fuoco, prima che bolla.

34. Hannovi molte altre sperienze ed osservazioni atte a mostrare la somma porosità dei corpi. Colla pelle di camoscio, spremendolo, si netta il mercurio dalle sostanze che lo imbrattano; e in maniera somigliante si suole separare l'oro secolui amalgamato in diverse miniere di questo prezioso metallo. Collo spirito di vino colorato si dipingono fino a molta profondità i marmi sufficientemente riscaldati. La pietra idrofana posta nell'acqua rendesi trasparente. L'acqua trapela dalla carta; i legni in luogo umido si gonfiano, ec.

35. La cute umana è fornita di un grandissimo numero di forellini o canaletti che derivano dall'interno del nostro corpo e terminano coperti, secondo Leeuwenhoek, da piccolissime squamette visibili col microscopio, le quali si coprono l'una l'altra come quelle dei pesci. Servono questi forellini per dare uscita a un' abbondante sostanza fluida, la quale arrivata liquida fino al contatto dell' aria, talvolta vi rimane alcun poco in tale stato, ed è il *sudore*, ma per lo più immediatamente svapora ossia se ne parte in istato aeriforme, e allora dicesi *traspirazione insensibile*. Intorno a quest'ultima fece osservazioni per lungo tempo il medico Santorio, il quale ebbe per molti anni la costanza di pesare il suo corpo, affine di riconoscere la perdita che faceva per tale cagione. Altre osservazioni fecero Seguin e Lavoisier, i quali vestendosi d'un sacco di taffettà separarono la traspirazione cutanea dalla polmonare. Da tutte queste osservazioni poi se n'ebbe per risultamento medio, che di otto parti di nutrimento che l'uom prenda, tre vengono perdute per traspirazione cutanea, due per traspirazione polmonare, e tre sole per secrezione.

36. Ma tornando ai corpi inorganici, egli è da av-

vertire che quei loro pori di cui abbiamo parlato, e che manifestansi all'occhio, al microscopio e ad altri modi di osservazione, non sono già affatto voti di materia; mancano essi solamente della sostanza densa onde è formata la parte rimanente di essi corpi, potendo d'altronde contenere o aria comune o altro fluido aeriforme. Il che si scorge evidentemente in quei corpi posti sott'acqua, dai quali colla macchina pneumatica estraggonsi le bollicine aeree.

37. Però oltre a questi pori più grandi ed accidentali, cioè non voluti necessariamente dalla costituzione della materia, e capaci di contenere altre sostanze materiali, vi hanno secondo gli atomisti altri pori o piuttosto *interstizii* assai minori che separano le molecole elementari le une dalle altre, e che non sono occupati da nessun'altra materia pesante se non forse da qualche fluido imponderabile. E lo argomentano dal restringersi che fanno tutti i corpi nel raffreddamento, cosa che essi fanno dipendere da vicendevole accostamento delle particelle elementari, le quali non si trovano secondo essi ad assoluto contatto, ma sono tenute alquanto lontane le une dalle altre dall'azione del calorico.

38. Cadendo qui in acconcio, passeremo a dir qualche cosa sul vacuo.

Noi possiamo di esso distinguere tre sorte, cioè:

1.° Vacuo ove non vi hanno sostanze dense cioè nè solide nè liquide, ma in cui però si contengono delle sostanze aeriformi.

2.° Vacuo privo d'ogni materia ponderabile, anche aeriforme, ma però occupato da principii imponderabili.

3.° Vacuo assoluto, ossia privo di ogni sostanza materiale.

39. Della prima specie ve n'ha in natura moltissimo; sono di questa natura tutti i pori che si scoprono colle osservazioni, tutti gli spazii interposti fra l'un corpo e l'altro sulla superficie terrestre, lo spazio occupato dall'atmosfera fin dove ella si estende.

40. Riguardo a quello della seconda specie non si hanno prove positive che egli possa esistere perfettissimo. Però in molti casi vi si arriva assai presso.

Primieramente noi vi ci accostiamo grandemente colle buone macchine pneumatiche; però non otteniamo mai con esse un voto perfetto, rimanendo sempre un residuo d'aria e di vapore acqueo.

Assai migliore è il voto barometrico, quando il mercurio sia stato ben bollito, e però la canna ben privata d'aria e d'umidità. Se non che alcuni dubitano che vi si possa contenere una piccolissima quantità di mercurio in vapore.

Molti lo ammettono perfetto negli spazii celesti, osservandosi che gli astri vi si muovono liberissimamente; e a dire il vero se mai ivi esiste della materia pesante, deve questa essere estremamente rara. Il celebre Wollaston riflette a questo riguardo, che quando sia vero il sistema atomistico, la nostra atmosfera non deve elevarsi indefinitamente e comunicare colle atmosfere degli altri pianeti, ma deve avere un limite. Le ragioni però a cui egli si appoggia non potrebbero trovare qui luogo acconcio ad essere riferite.

Secondo poi gli atomisti esso avrebbesi in tutti quei minimi intervalli che separano le molecole elementari dei corpi; nei quali intervalli, siccome anche ne' vacui che si ammettono negli spazii celesti, esiste sempre qualche principio imponderabile, p. e. la luce e il calorico.

41. In quanto alla terza specie di voto noi non possiamo affermare nè per ragioni, nè per osservazioni o sperienze se egli esista in natura o no. Se però si vorranno ammettere de' vasti spazii assolutamente voti, converrà al certo collocarli assai lungi da noi, cioè fuori di tutto l'universo, e sì da lontano che non vi arrivi più raggio di luce.

Volendo stare alle cose vicine, se vi sieno sotto le stelle fisse di tali spazii per lo meno piccolissimi, la questione

è del tutto incerta, non sapendosi se le sostanze imponderabili che trovansi nei luoghi privi di ogni materia pesante, constino di atomi separati che lascino degli intervalli assolutamente voti, ovvero sieno di materia diffusa in tutti i punti degli spazii da esse occupati. In vero i Peripatetici negavano il voto assoluto, asserendo che la natura lo ha in orrore; e da questo orrore al voto facevano dipendere la spiegazione di parecchi fenomeni, p. e. l'elevarsi dell'acqua nelle trombe; ma non appoggiavano la loro opinione a ragioni valide, e in quanto a que' fenomeni si trovò modo assai più felice di spiegarli.

CAPO III.

DI ALTRE PROPRIETÀ E NOZIONI DIPENDENTI DALL'ESTENSIONE

Del Volume.

42. Appellasi *Volume* di un corpo la quantità dello spazio che trovasi contenuto sotto la sua superficie apparente. Dico sotto la *superficie apparente*, poichè nel volume comprendonsi anche quelle piccole ma profonde cavità che il corpo può avere alla superficie e dove l'occhio non può penetrare. E così pure vi si comprendono tutti i pori interni. Giacchè non è a noi possibile lo escludere questi pori e quelle cavità, e valutare il solo spazio che viene realmente occupato e riempiuto dalla materia del corpo; cosa che d'altronde non suole essere necessaria.

43. Il misurarlo è cosa che propriamente s'appartiene alla Geometria; si può nulladimeno farlo anche per mezzo di sperienze, il che torna comodo specialmente ne' corpi molto irregolari. E i modi possono essere i seguenti:

a) Trattandosi di sostanze fluide, se ne misurano i volumi col riempierne de' vasi di capacità conosciuta, quali sono il decimetro cubico o *litro*, la brenta, ec.

b) Lo stesso si pratica per le materie composte di tanti pezzetti solidi incoerenti, quali sono le sabbie, le granaglie, ec.

c) In quanto ai solidi, se il corpo è agevole a muoversi si pone in un vaso che contenga dell' acqua, per modo che tutto vi si sommerga; e si osserva quanto s' innalzi il livello d' essa.

d) Se il corpo rimane galleggiante, lo si unisce ad un altro che il conduca a fondo, e dal volume che hanno in totale i due corpi, si detrae quello del corpo aggiunto.

e) Se il corpo è difficile a muoversi o non si lascia muovere affatto, si può fargli tutto all' intorno una cassa, e misurare quanta sabbia può capire fra l' interna parete di questa e il corpo contenuto, e quanta ne può stare nella cassa essendo vota; la differenza misurerà il volume cercato.

Possono occorrere diversi altri casi, p. e. di corpi solubili nell' acqua, di corpi che di questa si inzuppino, ec; ma un fisico, il quale abbisogni di siffatte cognizioni, sa anche facilmente trovare come debba procedere.

Della Densità e della Massa considerate fra più corpi di una medesima sostanza.

44. Più corpi del medesimo volume, e formati della medesima sostanza, non constano sempre di una medesima quantità di questa; potendo facilmente esservi dagli uni agli altri un diverso grado di porosità. In un pezzo di sughero, o di legno poroso e dolce, o di spugna, il quale si trovi fortemente compresso, vi sarà ad ugual volume più materia, che in un altro pezzo dello stesso sughero, della stessa spugna, o dello stesso legno, il quale non sia stato sottoposto a compressione. Lo stesso dicasi di due pezzi di un medesimo

metallo, l'un freddo e l'altro caldo. E più ancora delle sostanze aeriformi, p. e. dell'aria, della quale in un medesimo vaso se ne conterrà più o meno, secondo ch'ella è più fredda o più calda, o ch'ella vi è costipata con più o men forza. Ora fra più corpi di una medesima natura quelli che in volumi eguali contengono maggiore quantità di materia diconsi *più densi*, e all'incontro *meno densi* o anche *più rari* quelli che ne racchiudono meno. E si dicono densi il *doppio*, il *triplo*, la *metà*, ec., quelli che paragonati con altri hanno in eguali volumi il doppio, il triplo, la metà materia rispettivamente.

45. Occorre molte volte di dover misurare la quantità di materia o *Massa* di un qualche corpo, paragonandola con una quantità determinata di quella sostanza medesima onde esso corpo è formato, vale a dire di dover assegnare quante volte la prima contenga in grandezza la seconda. Ne' bisogni della vita ciò accade ad ogni tratto, p. e. ogni volta che si abbia a vendere o comperare qualche merce, il cui prezzo sia in proporzione della massa. Ora una siffatta misura alcune volte si prende dal volume, alcune volte dal peso.

46. Si prende dal volume, allorchè questo si può facilmente determinare, ed insieme la sostanza non è soggetta a variazioni di densità, o almeno si conosce come questa sua densità varii pel cangiare delle circostanze. Le particolari specie di sostanze poi nelle quali ordinariamente misuriamo le masse dai volumi sono i liquidi, le granaglie ed altre simili materie solide incoerenti, e i fluidi aeriformi.

Nei liquidi nulla varia la densità pel rimescolamento, pochissimo per la pressione esteriore, e ben poco per gli ordinarii cangiamenti di temperatura; inoltre la misurazione de' volumi è in essi facilissima.

Le granaglie, le sabbie, e le altre simili materie composte di pezzetti solidi incoerenti si trovano presso a poco nelle medesime condizioni, se non che in esse

può aver luogo qualche piccola variazione di volume dal rimescolamento e dalla pressione; ma negli usi ordinarii della vita di queste piccolezze non si tien conto.

I fluidi aeriformi possono a dir vero variare notabilmente di densità sì pel calore che per la pressione; ma i fisici, come si vedrà più innanzi, conoscono le leggi di questa variazione; e avendo a cagion d'esempio due volumi ineguali d'aria, essi sanno determinare quanta parte abbiano in questa loro ineguaglianza la temperatura e la pressione, e quanta ve n'abbia la diversità di massa. D'altronde attesa la grande leggerezza di queste sostanze, sarebbe opera assai difficile il misurarne ogni volta le masse dai pesi.

47. Ma nei corpi solidi il dedurre le masse dai volumi (sempre intendendo di paragonarli con altri corpi della medesima sostanza) sarebbe generalmente un metodo malagevole, e sovente erroneo. Difficile sarebbe infatti il misurare il volume di un minuto lavoro di oro; e sarebbe una maniera erronea quella di dedurne la massa dal volume, quando internamente avesse de' vacui, giacchè questi non si potrebbero ben valutare. In questi casi noi ricorriamo al peso, il quale ci porge una maniera sicurissima. Perciocchè la sperienza ci ha accertati che il peso di un corpo rimane esattamente lo stesso, in qualsivoglia modo se ne cangi la distribuzione della materia, sia ch'esso venga compresso e condensato, o reso poroso e soffice, o cangiato affatto di figura, o anche rotto in più parti, purchè non gli venga tolta nè aggiunta materia. Onde è che se un corpo A ha per cagion d'esempio quadrupla massa di un altro B, dovrà in ogni caso manifestare un quadruplo peso, e colla grandezza di questo suo peso manifestare quella della massa. Però affinchè questa maniera riesca esattissima, è d'uopo attenersi al peso che i corpi manifestano nel vacuo e che dicesi *assoluto*; perocchè nell'aria (come si di-

mostra ne' Trattati di Meccanica) i corpi mostrano un peso alcun poco minore, il che nel giudizio della massa può cagionare qualche errore.

Delle masse e delle densità paragonate fra corpi di diversa natura ci riserbiamo, per più facile intelligenza, a parlare nel capo V.

Della Compressibilità.

48. Abbiamo testè accennato che alcuni corpi mediante la compressione possono essere ridotti ad un minor volume. Su questa proprietà appellata la *Compressibilità* ci fermeremo ora a fare alcune più particolari considerazioni.

Fra i corpi solidi ci porgono esempio di essa molti legni porosi e in ispecie il sughero. Il platino che prima di essere lavorato occupa più di $\frac{1}{5}$ del volume di un ugual peso d'acqua distillata, dopo lavorato può occuparne meno di $\frac{1}{11}$ (1). Una simil cosa avviene dell'oro, del ferro, e della maggior parte degli altri metalli. Non però di tutti, essendovene alcuni, p. e. il piombo, i quali nel venir lavorati si rendono men densi, cosa molto singolare e che non si sa bene spiegare (2). L'attitudine poi a lasciarsi restringere si fa dipendere dalla porosità.

49. I liquidi si erano cimentati in vano più volte e in più maniere. Gli Accademici del Cimento avevano provato di comprimere una palla cava di argento ripiena d'acqua, ma senza ottenerne risultamento concludente. Abich aveva immaginata a quest'oggetto una macchina, che non potè nemmeno essa servire allo scopo. Si ammise pertanto che l'acqua, almeno per le ordinarie pressioni a cui possiamo sottometterla, non sia sensibilmente compressibile, e che

(1) Pouillet, *Élémens de Physique*, t. I, p. 296.

(2) Musschenbroek, *Introductio ad Philosophiam Naturalem*, § 1186.

lo stesso sia degli altri liquidi; e per questa ragione si è loro dato il nome di fluidi *incompressibili*. Si ritenne però che qualche debolissimo grado di compressibilità lo posseggano, essendosi riconosciuto che l'acqua si presta alla trasmissione del suono.

50. Riuscì finalmente a Canton verso la metà del secolo scorso di verificare un tale sospetto, avendo trovato che mediante una forza comprimente uguale all'ordinaria pressione atmosferica, l'acqua si restringe di circa 45 milionesimi del suo volume (1); e ciò venne confermato dal celebre Oersted per mezzo di una semplice ed ingegnosa macchinetta da lui inventata; e finalmente da Perkins, il quale avendo fatto uso di una forza comprimente di 2000 atmosfere riuscì a diminuire il volume di questo liquido di $\frac{1}{20}$ (2). Intendesi poi per *pressione atmosferica* quella forza con cui l'aria dell'atmosfera in conseguenza del proprio peso preme la superficie di tutti i corpi, forza che ordinariamente equivale ad una colonna di mercurio che abbia un'altezza di 28 pollici, ossia di metri 0,76, ed una base uguale alla superficie premuta. Vedremo in altro luogo le prove che l'aria sia pesante, che l'atmosfera prema i corpi, e che la sua pressione abbia l'enunciata misura.

51. Sembra poi che questa diminuzione di volume, almeno per le piccole forze, sia proporzionale alla compressione, cioè che l'acqua a due pressioni atmosferiche si restringa di 90 milionesimi, a tre pressioni di 135, ec. Gli altri liquidi presentano una diminuzione di volume molto diversa da quella dell'acqua; p. e. il mercurio per la pressione di un'atmosfera si restringe, secondo Oersted, appena di un milionesimo. E in questo effetto ha altresì parte il diverso grado di calore.

(1) *Philosophical Transactions*, t. LII e LIV; Giornale di Fisica di Pavia, 1827, p. 404.

(2) Giornale di Fisica di Pavia. 1823, p. 239; 1827, p. 325.

52. I fluidi aeriformi si lasciano in vece comprimere con molta facilità, talchè si sogliono anche chiamare fluidi *compressibili*. Si può facilmente provarlo con una sciringa premendo lo stantuffo contro il fondo tenuto chiuso. Ma una sperienza, la quale dà altresì a divedere secondo qual legge queste sostanze si condensino a proporzione che se ne aumenta la compressione, è quella che si fa col *tubo di Mariotte*. Con questo si dimostra che mantenendosi il medesimo grado di calore, il volume dell'aria e degli altri fluidi aeriformi è in ragione reciproca delle forze comprimenti. Questa legge, detta di *Mariotte*, ma scoperta la prima volta da Roberto Boyle, si è per l'aria trovata esatta con esperienze dirette sino a 27 atmosfere (1). Asseriscono però alcuni autori di aver recentemente riconosciuto, che in diversi fluidi aeriformi compressi da forze grandissime questa legge si è mostrata difettosa. E vi ha poi opinione che oltrepassato un certo limite di pressione, diverso secondo la natura delle sostanze aeriformi cimentate, queste si cangino in liquidi. L'aria, p. e., secondo il Perkins, alla pressione di 1200 atmosfere mostrasi in forma di un liquido trasparente (2).

Della Espansibilità.

53. Oltre al restringersi nel volume per la compressione, hanno i fluidi aeriformi anche la proprietà contraria di espandersi in uno spazio più grande quando scemi la pressione a cui stanno sottoposti, proprietà che dicesi *Espansibilità*. Perciocchè una qualsivoglia massa d'aria o d'altro fluido aeriforme contenuto entro un dato spazio e comunicante coll'aria atmosferica si trova già compressa dal peso dell'atmosfera; e se

(1) *Annales de Chim. et de Phys.* 1830, t. XLIII, p. 74 e seg.
(2) Giornale di Fisica di Pavia. 1827, p. 325.

quest'ultimo viene a scemare o ad esser supplito da una pression minore, la massa aeriforme si dilata. Si potrebbe farne esperienza portando all'alto di una montagna o in una salita aerostatica una vescica alquanto flaccida, la quale si vedrebbe andar gradatamente gonfiando.

Anche qui vale la legge di Mariotte: a metà forza comprimente il volume si rende doppio, a un terzo di forza triplo, a un decimo decuplo, ec. E riguardo alla espansibilità non si è ancora a questa legge trovato limite.

54. Causa della espansibilità si è la *Forza espansiva*, la quale è lo sforzo esercitato dai fluidi aeriformi contro le pareti fra cui sono rinchiusi, tendendo a dilatarsi. Questa forza espansiva è grandissima quando questi fluidi si trovano notabilmente condensati, e al contrario è debole quando piccola è la densità, e debolissima allorquando il fluido aeriforme è estremamente raro: e stando costante la temperatura, ella varia nella precisa proporzione della densità; talchè rendendo doppia, quadrupla, ottupla la quantità di un fluido aeriforme contenuto entro un dato spazio, diviene anche doppia, quadrupla, ottupla la sua forza espansiva. Si può provarlo spingendo dell'aria in un vaso, ove una seconda apertura sia coperta d'una valvula che possa aggravarsi di diversi pesi: la massa d'aria che è d'uopo introdurre per far alzare questi pesi cresce nella stessa proporzione di questi, ben inteso che insieme con essi dee computarsi anche la pressione dell'atmosfera.

55. Dalla forza espansiva de' fluidi aeriformi si deduce la spiegazione di molti fenomeni: quello della fontana di compressione, quello dello schioppo a vento, l'effetto della polvere da cannone, ec.

56. Dalla legge della forza espansiva è facile il derivare quella che si osserva nella compressibilità e nella espansibilità pei diversi gradi di compressione. Per incominciare dalla prima, noi possiamo conside-

rare che allorquando un fluido aeriforme contenuto nel tubo di Mariotte è premuto dalla semplice pressione atmosferica, egli prende un volume corrispondente ad un tale grado di densità, che la sua forza espansiva equivalga e faccia esattamente equilibrio alla pressione che sostiene, restringendosi opportunamente ed aumentando di densità se per avventura tal forza espansiva fosse prima troppo debole, e dilatandosi nel caso contrario. Viene la pressione a raddoppiarsi? Allora la forza espansiva del fluido aeriforme non bastando a resistere, cede, e permette che il volume scemi; ma collo scemare di questo e col crescere della densità, essa forza invigorisce; e ridotto esso volume alla metà, ella, per essersi raddoppiata la densità, si trova forte il doppio e capace di resistere alla pressione, e però allora fa cessare l'ulteriore restringimento. Rendesi tripla la pressione? Il volume torna a diminuire, e riducesi al terzo; ma non passa sotto questo segno, giacchè la forza espansiva, col triplicarsi della densità fattasi anch'essa tripla, giunge di nuovo ad uguagliare la pressione e a resisterle. Lo stesso dicasi di ogni ulteriore compressione. A quadrupla forza comprimente, il volume si riduce al quarto, a forza quintupla al quinto, ec., perchè a tali volumi la forza espansiva uguaglia esattamente la pressione, nè le concede di portare più innanzi il suo effetto. Ed ecco spiegato come i volumi debbano essere reciproci alle forze comprimenti.

57. Veniamo alla Espansibilità, e consideriamo il caso della vescica flaccida. Se noi portiamo questa ad una tale altezza che la pressione esercitata su di essa dall'atmosfera non sia più che la metà di prima, quivi la forza espansiva dell'aria rinchiusa, venendo a trovarsi superiore alla pressione, farà sulle prime gonfiar la vescica, e ciò fino a che l'aria stessa sia divenuta della metà densità, ossia abbia preso un volume doppio; non però più in là, giacchè a questo punto la

forza espansiva essendo indebolita e ridotta alla metà, troverassi appena uguale alla esterior pressione, nè le potrà più prevalere. Portando la vescica più all'alto, sì che la pressione venga ridotta al terzo, allora, per essersi ancora diminuito l'ostacolo che opponevasi alla forza espansiva, questa tornerà a far gonfiare vieppiù la vescica, e porterà l'aria a un terzo di densità, ossia al triplo volume. Lo stesso sarà delle ulteriori diminuzioni di pressione; si dilaterà a ciascuna volta l'aria rinchiusa fino a tanto che la sua forza espansiva siasi ridotta ad essere appena uguale alla pressione, e crescerà il volume in guisa da essere tante volte più grande del primitivo, quante volte la pressione ultima è della primitiva minore. Sempre però ben inteso, che la vescica non arrivi ad esser tesa, e serva soltanto a separare l'aria contenuta dalla esteriore, senza comprimerla.

58. Colle dottrine precedentemente spiegate si rende facilmente ragione del modo con cui la macchina pneumatica opera il voto (*).

59. Una sperienza per dimostrare l'espansibilità dell'aria si è quella di far gonfiare la vescica col porla entro il recipiente della macchina pneumatica, e farle d'intorno il voto. Quell'aria che la circondava, e che colla sua forza espansiva faceva le veci della pressione atmosferica, comprimendola esternamente e tenendola flaccida, si va rendendo più rara e perde di questa forza; per cui l'aria contenuta viene a prevalere di forza espansiva, e si estende in fino a che le due forze espansive si facciano equilibrio.

60. La forza espansiva dell'aria e degli altri fluidi aeriformi ritenuti entro un determinato spazio, sia piccolo, sia grande, non si perde nè si diminuisce

(*) I lettori possono vedere nell'ultimo bimestre 1827 del Giornale di Fisica di Pavia un perfezionamento a questa macchina da me proposto.

giammai, semprechè non varii il grado di calore o almeno non si trovi diverso al tempo delle differenti prove. Sparato un fucile pneumatico dopo molti anni da che era carico, fece lo stesso colpo come se fosse stato caricato da pochissimo tempo.

Si fa poi questa forza dipendere, nel sistema atomistico, da una vicendevole ripulsione fra le molecole de' fluidi aeriformi, la quale si suppone tanto più grande quanto più piccole ne sono le distanze.

61. Una piccola e limitata espansibilità ha luogo anche nei liquidi; cessata in fatti la compressione, tornano essi a riprendere per intero quella piccola parte di volume che avevano perduto.

Ed anche i solidi, se dopo compressi vengono lasciati a se medesimi, tornano a riacquistare in tutto od in parte il volume primitivo: ciò però è un caso particolare di una più generale proprietà che i solidi posseggono detta Elasticità, la quale consiste nel ritornare ch' essi fanno o esattamente o solo in parte alla primiera forma dopo cessata l' azione che aveala alterata; ma di questa parleremo più innanzi.

CAPO IV.

DELL' IMPENETRABILITÀ

62. Il luogo che un corpo occupa serve per essolui esclusivamente, e fintanto che esso vi rimane, nessuno altro può penetrarvi e contemporaneamente occuparlo. Ed è questa una proprietà comune a tutti i corpi, la quale dicesi *Impenetrabilità* e da alcuni anche *Incompenetrabilità*. Noi ce ne persuadiamo dal vedere che un corpo il quale si trovi in qualche luogo o impedisce a qualunque altro di venire nel luogo stesso, o permettendoglielo se ne ritira esso medesimo. Ciò si riconosce premendo insieme due corpi solidi, tentando di

penetrare in un corpo solido colla mano, immergendo un solido entro un vaso ripieno di un liquido, ec.

63. Per provarlo fra una sostanza liquida ed una aeriforme, si suole immergere un vaso voto, ossia non d'altro pieno che di aria, colla bocca all'ingiù entro un altro vaso più ampio che contenga dell'acqua, ponendo per maggiore evidenza una corta candelina accesa a galleggiare, e comprendendola entro la bocca del vaso che si immerge.

64. Il penetrare d'un chiodo in un legno non è una violazione di questa impenetrabilità, non succedendo veruna compenetrazione di materia, ma solamente uno spostamento delle parti del legno per dar luogo al chiodo. E se una mano gira liberamente per l'aria, ciò nasce dall'estrema mobilità di questo fluido, il quale facilissimamente abbandona il luogo in cui viene a recarsi la mano, per portarsi altrove.

65. Una maggiore apparenza di compenetrazione si ha allorquando si mescola dell'acqua con un egual volume di alcool purissimo, nel qual caso il volume del misto riesce alcun poco minore della somma de' volumi separati. Ma anche questo fenomeno, nel sistema degli atomisti, si può facilmente spiegare senza aver ricorso a compenetrazione, bastando ammettere che una delle due sostanze si insinui nei pori dell'altra, ovvero che le particelle del miscuglio sieno talmente disposte da lasciare una minor somma di pori che quando le due sostanze erano separate; in quella guisa che un sacco di ghiaja ed uno di arena mescolati insieme fanno meno di due sacchi.

Questa diminuzione di volume ha luogo in molte altre mescolanze, p. e. nel mescere parti uguali d'acqua pura e d'acqua satura di sal comune, nell'unire zinco e rame per formare l'ottone. È però cosa assai singolare riguardo all'alcool, che quando esso è assai diluito d'acqua (talchè il pesaliquori segni 0,97 di gravità specifica), allora mescolato con altrettanta acqua

pura mostra invece un aumento di volume (1). Questo fenomeno che succede anche in molti altri casi, p. e. quando si uniscono in lega l'argento e il rame (2), si spiega coll'ammettere che nel mescolamento la somma dei pori s'accresca; come succederebbe confondendo insieme due mucchii l'uno di grossi e l'altro di piccoli dadi, i quali mentre erano separati fossero a perfetto combaciamento.

66. Questa proprietà è la causa perchè i corpi sieno soggetti al tatto, essendo facile a comprendersi che mancando interamente di essa non potrebbero cadere sotto questo senso, ma sarebbero semplicemente delle forme o de' fantasmi, simili a quelle ombre che vengono descritte dai poeti, o a quelle immagini, per non uscire della Fisica, le quali si formano dinanzi agli specchi concavi cui si presenti un qualche oggetto (3). Ben è vero che a rendere i corpi sensibili al tatto potrebbe bastare una difficoltà alla penetrazione, ma una impenetrabilità assoluta riesce assai più valevole.

67. Dalla stessa impenetrabilità scaturisce un' altra proprietà de' corpi, cioè la *Coercibilità*, la quale è quella di poterè essi venir rinchiusi ne' vasi senza poterne sfuggire. Tutte le sostanze ponderabili sono coercibili, poichè si possono sempre rinchiudere in tali vasi da non poterne uscire. Servano d'esempio l' aria chiusa in una vescica, l'acqua in un recipiente metallico, le sostanze odorose in vasi di vetro ermeticamente chiusi. Che se alcune sostanze riescono a trapelar fuori, ciò nasce sempre da porosità del vaso contenente, non da incoercibilità della sostanza contenuta. Che poi questa proprietà dipenda dalla impenetrabilità è cosa evidente, giacchè se la materia del vaso fosse pene-

(1) Thénard, *Traité de Chimie.* 1821, t. III, p. 309.
(2) Musschenbroek, *Intr. ad Phil. Nat.* § 1408.
(3) Biot, *Traité de Physique*, t. I, p. 2.

trabile da quella che in esso si contiene, questa ne potrebbe liberamente uscire.

68. I principii imponderabili però mancano di questa coercibilità; il calorico attraversa facilmente le pareti metalliche di un vaso, e in breve tempo lascia freddo un corpo introdottovi caldo; la luce attraversa liberamente il vetro, l'acqua, ed altre sostanze moltissime; il fluido elettrico fa lo stesso con quasi tutte le sostanze ponderabili e specialmente con le metalliche; in quanto al principio de' fenomeni magnetici il lasciamo da parte essendo involto in maggiore oscurità degli altri. Relativamente poi alla causa, non è ben certo se essi ciò facciano per una somma sottigliezza di parti, la quale permetta loro di passare agevolmente per gli interstizii delle molecole dei corpi, ovvero per reale mancanza d'impenetrabilità, talchè possano coesistere in un medesimo luogo coll'altra materia pesante, ovvero finalmente per non essere vere sostanze materiali, ma piuttosto degli stati particolari di un'altra materia. Il perchè noi lasceremo dubbioso se cotali principii imponderabili sieno dotati anch'essi o no dell'impenetrabilità.

69. La causa immediata della resistenza che i nostri sensi trovano a penetrare nei corpi, stimasi essere una forza ripulsiva della quale alle minime distanze si credono dotate le molecole elementari dei corpi stessi, quella medesima che tien lontane le molecole suddette dal perfetto ed assoluto contatto (§ 37). Perciocchè in quella guisa che da essa viene impedito il mutuo contatto fra le molecole di un medesimo corpo, allo stesso modo è impedito che possano venire a perfetto contatto le molecole più prossime di due corpi accostati, ed anche premuti insieme. Il che toglie non solo la compenetrazione di due corpi, ma eziandio il loro assoluto contatto.

70. Si è sperimentato che per mezzo di fortissime pressioni l'acqua e il mercurio possono trapelare rispettivamente dall'argento, dal ferro, ec. Senza ricorrere a violazione di impenetrabilità, possiamo di ciò dare più spiegazioni. 1.° Si

può ammettere che in queste sostanze solide vi sieno de' pori fatti a guisa di non interrotti canaletti, atti bensì a lasciar passare quelle molecole liquide, ma con tale difficoltà a cagione del grande sfregamento, che al passaggio sieno indispensabili quelle fortissime pressioni. 2.° La pressione potrebbe distendere alcun poco il vaso ed allargare a sufficienza alcuni pori onde le molecole liquide possano uscire, ovvero anche produrvi qualche sottilissima fessura o lacerazione.

71. Ma da quel punto ove il nostro tatto trova resistenza alla penetrazione, fin dove dovremmo internarci per arrivare veramente alla materia delle molecole, a quella sostanza cioè di cui la forza repellente non è che un attributo? Nulla di questo è noto: onde per non piantare ipotesi lasceremo la questione in tutto il suo stato di dubbio.

72. A questa proprietà noi possiamo riferire la campana dei Palombari, vale a dire quella macchina con cui si discende sott' acqua a fare diversi lavori senza venir privati dell' aria necessaria alla respirazione. Altro in fatti ella non è che una modificazione dell' esperienza con cui si prova l'impenetrabilità fra i liquidi e le sostanze aeriformi (*).

CAPO V.

DELLA MOBILITÀ

73. La *Mobilità* è la proprietà che hanno i corpi di poter essere trasportati da un luogo ad un altro. È anche questa una proprietà generale; perocchè ogni corpo della natura sia piccolo sia grande può essere posto in moto. Anzi ogni corpo, sia pur grande quanto si voglia, purchè esterne resistenze non gli si oppongano, può essere messo in moto da qualsivoglia mi-

(*) *Dictionnaire Technologique*, t. V, p. 371, *article* Cloche de l'longeur.

nima forza: solamente quando la forza sia piccolissima ed operi per breve tempo, il moto che ne risulta è lentissimo. Diceva Archimede a questo riguardo:

Da ubi consistam et terram movebo;

affermava cioè che se gli si fosse dato un punto ove appoggiarsi, egli avrebbe smosso il globo terrestre.

Dell' Inerzia.

74. Affinchè però i corpi possano concepir moto è necessaria l'azione di una causa esteriore o forza che ve li sospinga, stantechè senza di questa i corpi che trovansi in quiete vi resterebbero perpetuamente. Ed una causa esteriore pur si richiede per rallentare un moto e fermarlo, e in generale per cangiarne la velocità e la direzione in qualsivoglia modo. Poichè vi ha ne' corpi un'altra proprietà detta dai Fisici *Inerzia*, in forza di cui *un corpo si mantiene nel suo stato o di quiete o di moto rettilineo ed uniforme, finchè una cagione esterna non lo obblighi ad abbandonare quello stato.*

75. Che un corpo il quale si trovi in quiete debba continuare a rimanervi finchè non sopraggiunga qualche impulso esteriore, è una cosa naturalissima a pensarsi: noi veggiamo che ogni produzione di moto deriva sempre dall'azione di qualche forza, e che qualora manchino affatto le forze, non si produce mai moto; veggiamo per esempio rimanere immobile un corpo posato su di un piano orizzontale quando non sia sollecitato da veruna forza: in generale tutti quanti i fenomeni della natura concorrono a provarci che i corpi per se medesimi sono incapaci a cangiar di luogo. Che se i corpi abbandonati a se stessi cadono verso la terra, è questo un effetto dell'attrazione del globo terrestre, cioè di una causa esteriore; tolta questa, i corpi non cadrebbero più, ma stareb-

bero immobili in quel luogo dello spazio ove fossero collocati.

76. Che un corpo, il quale attualmente si muova per un precedente impulso e senza che più risenta l'azione di veruna forza, che esso, dico, debba proseguire il suo cammino in linea retta senza mai deviarne, è questo pure di non difficile concepimento; giacchè mancando quelle cause che sono valevoli a far deviare dalla linea retta, è naturale il pensare che non debba succedere deviazione. E n'abbiamo prova sperimentale ogni volta che vien dato moto ad un corpo su di un piano orizzontale, veggendosi che esso va innanzi dirittamente senza piegare nè a diritta nè a sinistra. E se i corpi lanciati nell'aria orizzontalmente, mentre s'avanzano, piegano all'ingiù, nasce anche questo dall'attrazione della terra, la quale se mancasse, i corpi progredirebbero dirittamente senza piegare da nessuna parte.

77. Egli è però men facile il persuadersi che mancando ogni causa esteriore contraria al moto, debbano i corpi continuare nel loro cammino senza rallentarsi giammai. Parrebbe in sulle prime che ogni moto debba di sua natura rallentarsi insensibilmente, e alla fine interamente spegnersi. Ma che la cosa vada diversamente ce ne comincia a nascere forte sospetto dall'osservare: 1.° che al moto di qualunque corpo si oppongono sempre molti ostacoli; p. e., se si getta una palla a rotolar su di un piano, ella vi incontra sempre qualche scabrezza, oltre alla resistenza dell'aria, la quale mai non manca; e che perciò il rallentamento del moto è d'uopo attribuirlo almeno in parte a questi visibili impedimenti: 2.° che il moto si prolunga tanto più a lungo, e tanto più lentamente va perdendo della sua primitiva velocità quanto più ci riesce di rimuovere questi ostacoli; il che fa presumere che tolti questi interamente, il moto nè cesserebbe nè si rallenterebbe giammai. La dimostrazione poi riceve

il suo pieno compimento dall'esatto accordo fra i diversi moti che avvengono in natura, e i risultamenti dei calcoli coi quali si determinano *a priori* le particolarità di questi moti medesimi. Si suppone in questi calcoli che la materia possegga la già definita proprietà dell' inerzia: ora quando fosse falsa questa supposizione riuscirebbero generalmente erronee tutte le deduzioni, nè corrisponderebbero ai fatti in un modo così esattissimo, come specialmente si osserva ne' fenomeni astronomici.

78. Mediante questa proprietà noi possiamo dar ragione di diversi fenomeni naturali. Uno di essi può essere quello che avviene allorquando una vettura incomincia a muoversi; ed è che se le persone che vi si trovano non ne sieno avvertite, sentono il lor corpo come trasportato all' indietro. Al contrario trovandosi taluno in una vettura ovvero in una barca, e venendo ad un tratto questa a fermarsi, esso si sente trasportato all' innanzi; e similmente correndo un cavallo a tutto corso fino all' orlo di un precipizio, ben difficilmente potrà fermarsi all' istante, ma dall' inerzia, che in questo caso si suol appellare *impeto*, sarà trasportato a precipitarvisi. Se noi prendiamo un bicchiere pien d' acqua con dentro alcuni pezzettini galleggianti, e il facciam girare circolarmente intorno al proprio asse, vedremo che ne' primi giri l' acqua si terrà pressochè immobile.

I moti poi che possono aver luogo ne' corpi sono variatissimi, e formano una considerevolissima parte di tutta la somma de' fenomeni che avvengono in natura. Quindi è che essi hanno dato luogo ad un ramo assai esteso della scienza, vale a dire al ramo della *Meccanica*, al quale noi rimettiamo l' ulteriore sviluppo di queste materie.

Della Massa e della Densità considerate fra corpi di diversa natura.

79. Sogliono i Fisici nelle questioni del moto e dell'equilibrio paragonare fra loro anche le masse dei corpi di diversa natura, valutandole dalle forze che esigono pei cambiamenti di stato. A ben intendere la cosa giova premettere, che se noi prendiamo due corpi formati della medesima sostanza e di eguali quantità di materia, e ci proviamo a metterli in moto comunicando loro uguali velocità, noi troviamo che le due forze a ciò necessarie, supposte fatte operare per la medesima durata di tempo, sono precisamente fra loro uguali. Ed uguali sono pure le forze necessarie a fermarli, quando essi già si muovano di uguali velocità; in generale sono sempre uguali le forze che abbisognano per indurre in questi due corpi delle simili variazioni di velocità e di direzione del moto. Nè può far veruna differenza la diversa figura, la diversa porosità, in genere la diversa distribuzione della materia; potendo solamente queste qualità produrre una diversa attitudine alle mutazioni di forma, cioè diverso grado di consistenza, di compressibilità, di elasticità, ec. Che se i due corpi, essendo ancora di una medesima sostanza, hanno massa diversa, e noi prendiamo a farli muovere tutti e due colla medesima velocità, ovvero se già movendosi di pari velocità noi li vogliamo porre in quiete o accelerarli similmente o in genere vogliamo produrre in questo lor moto de' simili cangiamenti, le forze a ciò occorrenti saranno sempre diverse, e si esigerà maggior forza pel corpo di maggior massa, minor forza per quello di massa minore; ed essendo la massa del primo doppia, tripla, quadrupla, ec., di quella del secondo, la forza necessaria al primo sarà rispetti-

vamente doppia, tripla, quadrupla, ec. di quella occorrente al secondo.

80. Ciò premesso, se avendo due corpi di diversa natura, noi ne proporzioniamo talmente le masse, che due date forze uguali loro imprimano uguali velocità, questi due corpi abbisogneranno sempre di forze uguali, come risulta da altre prove, sì per passare ambedue dalla quiete al moto e muoversi con uguali velocità, sieno queste di qualsivoglia grandezza, sì per perdere uguali gradi di velocità e rimanersene in quiete, e sì per qualsivoglia altro mutamento di stato che sia simile per ambedue; e però si troveranno questi corpi, per quello che riguarda siffatti fenomeni, nella stessa condizione di due corpi d'una medesima natura e di *uguali* masse. Ora non volendo i Meccanici ingerirsi nella natura chimica dei corpi, dicono addirittura che le masse di questi due corpi sono *uguali;* sono in fatti per essi come se veramente fossero tali.

Se in vece i due corpi di natura diversa esigono forze ineguali per essere posti in moto con una medesima assegnata velocità, abbisogneranno essi sempre di forze ineguali per tutti i simili cangiamenti di stato, l'uno abbisognerà sempre di forza maggiore, e l'altro di minore; e dai Meccanici si dirà che l'uno ha maggior massa, e l'altro minor massa. E se in un caso particolare il primo di essi ha bisogno di una forza doppia o tripla di quello che occorre per l'altro, ciò avverrà anche in ogni altro caso, e i due corpi si comporteranno sempre come se l'uno avesse il doppio o il triplo della massa dell'altro; epperò, in forza della ragione addotta più sopra, i Meccanici dicono in modo assoluto che la massa del primo di questi corpi è rispettivamente doppia o tripla di quella del secondo.

In generale presso i Meccanici, sia che si tratti di corpi della medesima natura o di corpi di natura diversa, diconsi uguali quelle masse che esigono uguali

forze per ricevere o perdere uguali gradi di velocità; e nel caso che si ricerchino forze disuguali, dicesi che la massa dell'un de' corpi è tante volte più grande della massa dell'altro, quante volte per un somigliante cangiamento di stato la forza occorrente al primo è maggiore di quella occorrente al secondo (*).

81. Sarebbe però un metodo difficile a praticarsi quello di ricorrere alla misura delle forze ogni volta che occorresse di valutare le masse. Si fa perciò uso del peso il quale presenta un'assai maggiore facilità. Perocchè si è ritrovato che quando più corpi eterogenei hanno secondo la convenzione or ora stabilita uguali le masse, essi hanno altresì, pesati in un medesimo luogo ambedue, lo stessissimo peso assoluto; e che per conseguenza quando uno ha massa doppia o tripla d'un altro ha anche doppio o triplo peso; donde segue che dal paragone dei loro pesi assoluti noi possiamo sempre dedurre il rapporto delle loro masse.

Il peso assoluto o nel voto serve adunque universalmente per paragonare fra loro e misurare le masse dei corpi, sieno essi d'una stessa sostanza o il sieno di diverse. E quando si vuole determinare e indicare la massa di un corpo, non si fa che ricercare ed esprimere quante volte il suo peso assoluto sia multiplo in quel paese di un peso dato. Questo dato peso poi a cui si rapportano i pesi e le masse dei corpi si dice *l'unità dei pesi* o *delle masse.*

82. Quasi ciascun paese ha una particolare unità di massa o di peso; solo il nome è pressochè comune a tutte, che è quello di *libbra.* Nel sistema metrico stato adottato in questi ultimi tempi in Francia e in molte parti d'Italia, si assume per tale unità la massa di un decimetro cubico di acqua distillata, presa a quel grado di temperatura a cui ella ha la massima

(*) Si può vedere un cenno di queste idee presso Biot, *Traité de Physique*, t. I, p. 345.

densità, che è circa ai $+4^{\circ}$ del termometro centigrado o ai $+3^{\circ}\ 1/5$ di quello di Réaumur; e si appella *chilogrammo* o *libbra metrica*. Dicendosi adunque che un corpo è, p. e., di sette *chilogrammi*, vuolsi intendere ch'egli è uguale in massa a sette decimetri cubici di quell'acqua, ossia che pei diversi cambiamenti di stato sempre esigerebbe la medesima forza come siffatta quantità di acqua, ed altresì che nel vacuo mostrerebbe lo stesso peso.

83. Osserveremo poi, che essendo ordinariamente ben piccola la differenza fra il peso dei corpi nel vacuo e quello nell'aria, ed essendo d'altronde il primo assai difficile a potersi misurare, noi sogliamo negli usi ordinarii della vita servirci del secondo.

84. Per dare maggior chiarezza a queste idee, fermiamci un momento a mostrare in che differisca l'eguaglianza di due masse della medesima natura da quella di due masse di natura diversa.

Allorquando vi ha uguaglianza di massa fra due corpi composti di una medesima sostanza, si hanno in essi due quantità di materia capaci delle stessissime proprietà; si hanno cioè due corpi, i quali, levatene le accidentali differenze dipendenti dalla diversa distribuzione della materia, come sono la diversità di figura, di volume, ec., sono del resto perfettamente simili in tutte quante le possibili proprietà materiali, talchè potrebbonsi sostituire l'uno all'altro, senza che veruno potesse minimamente accorgersi del cambio nè dall'apparenza nè con qualunque prova.

Quando poi si dicono uguali in massa due corpi di diversa natura, per rispetto alle proprietà meccaniche l'equivalenza sussiste ancora; e in tutti quei fenomeni che essi possono presentare essendo sollecitati da date forze, essi comportansi in un modo similissimo e come se fossero uguali porzioni di una medesima sostanza. Oltre a queste rassomiglianze che sono una necessaria conseguenza della definizione, essi si comportano altresì ugualmente in que' fenomeni che dipendono dalla gravità, vale a dire nella prontezza a cadere liberamente, nel peso, ec. Ed anche rispetto a certe loro qualità, quali sono il volume, il co-

lore, la durezza, l'elasticità, la tenacità, e in genere i varii modi di resistere a' cambiamenti di figura e alla separazione delle parti, se questi corpi presentano delle differenze, possono queste esistere anche in due corpi composti di una medesima sostanza, dipendentemente dalla disposizione delle molecole, come a cagion d'esempio si osserva fra l'acciajo dolce e il temprato, e assai più ancora fra il diamante e il carbonè. Riguardo adunque a queste proprietà i due corpi si possono sostituire l'uno all'altro senza che lascino conoscere cambio, potendo solamente far supporre cangiata la disposizione delle molecole. Fuori però di siffatte proprietà l'equivalenza non sussiste più, e in tutte le prove chimiche, e in molte delle fisiche i due corpi mostrano delle differenze più o meno notabili, p. e. nell'attitudine a disciogliersi in certi acidi, nella fusibilità, ec.

85. Sogliono parimente i fisici paragonare fra loro le densità de' corpi formati di diverse sostanze. Dicono ugualmente densi quelli di cui presi uguali volumi, hanno questi la medesima massa, più densi quelli che ad ugual volume hanno maggior massa, men densi quei che n'han meno, e tante volte dicono più grande la densità quante è più grande la massa in egual volume contenuta. Siccome poi la diversa densità si suole riconoscere dai pesi assoluti che i corpi hanno in eguali volumi, stantechè questi pesi ci manifestano le masse, così ella suolsi anche appellare *peso specifico* o *gravità specifica*. E così quando un corpo, ad ugual volume, ha doppia massa di un altro, si suol dire aver egli rispetto a quest'ultimo *doppia densità*, ovvero *doppio peso specifico*, ovvero *doppia gravità specifica*.

86. Per esprimere le densità dei corpi solidi e dei liquidi, si suole paragonarli coll'acqua distillata, dicendo quante volte ne sieno più densi. Si sceglie questa sostanza siccome quella che può aversi facilmente dappertutto e di natura identica: è però necessario, quando si voglia usare accuratezza, che si dichiari a quale temperatura siasi fatto il paragone; giacchè al cangiare di temperatura varia tanto la densità del-

l'acqua distillata, quanto quella del corpo confrontato, e generalmente anche il rapporto delle due densità. Per un esempio, volendo indicare la densità dell'oro, diciamo che a $+18^{\circ}$ C (cioè a 18 gradi centigradi sopra *zero*) ella è 19,258 volte quella dell'acqua distillata.

Pei fluidi aeriformi si instituisce il confronto colla comune aria atmosferica; nè è necessario accennare a quale temperatura si eseguisca l'operazione, giacchè dilatandosi queste sostanze pel calore tutte ugualmente, il rapporto della loro densità è lo stesso a tutte le temperature.

87. Le densità dei corpi variano moltissimo dall'uno all'altro. Il platino che è il metallo più denso, e l'idrogeno che è il più leggiero fluido aeriforme hanno le densità nella proporzione di 250000 ad 1 all'incirca; e la differenza sarebbe ancor maggiore nel caso che l'idrogeno sostenesse una minor pressione di quella di 28 pollici di mercurio.

I fluidi aeriformi, benchè differiscano assai l'uno dall'altro, alla comune pressione atmosferica sono tutti molto men densi de' solidi e de' liquidi. Molto più vicine sono le densità spettanti a queste ultime classi, talchè ordinati secondo le densità i liquidi e i solidi si trovano frammischiati indistintamente insieme (1).

88. Per dire qualche cosa sulle opinioni che si ebbero relativamente alla causa della grande differenza fra le densità dei corpi, furonvi alcuni i quali l'attribuirono alla sola porosità, credendo sempre più densi quei corpi che sono meno porosi, e supponendo che tutte le sostanze quando fossero prive di pori avrebbero la medesima densità (2). Ma questa, nello stato attuale delle nostre cognizioni, è una ipotesi gratuita. Veramente, quando si tratti di corpi di una

(1) Veggasi alla fine del volume una Tavola delle gravità specifiche di diversi corpi.

(2) Poli, *Elementi di Fisica*. Venezia, 1804, t. I, p. 53.

medesima sostanza, secondo il comune sistema atomistico la loro diversa densità non dipende da altro che dall'avere più o meno pori in egual volume, e quando questi fossero ridotti ad uguali somme, sarebbero pure uguali le densità. E anche passando da una ad altra sostanza, i pori hanno molta parte nella densità, e l'essere un corpo più o men poroso fa ch'ei si avvicini o si scosti dalla densità di un altro. Ma è possibilissimo che ci abbia altresì parte la particolar natura dei corpi. Noi non abbiamo in fatti nessuna prova sperimentale, la quale ci assicuri che l'alcool sia più poroso dell'acqua, e che riempiendo tutti i pori di una massa d'acqua con altra materia acquea si possa avere una densità maggiore di quella del mercurio, cioè uguale a quella d'una massa di mercurio i cui pori siano stati riempiuti essi pure d'altro mercurio. Potrebbe il mercurio godere di più intense proprietà materiali, e in eguale spazio pieno avere più peso, e ricercare maggior forza per essere posto in moto.

Altri, supponendo che le molecole elementari dei corpi sieno tutte fra loro perfettamente simili, dissero essere tanto più denso un corpo quante più particelle elementari esso contiene in un dato volume. Ma anche questa è finora un'ipotesi gratuita; ed anzi le molecole di quelle sostanze che la Chimica riguarda presentemente come semplici, secondo le recenti dottrine delle *proporzioni determinate* differiscono d'assai nella massa le une dalle altre. Potrebbero in vero queste sostanze essere capaci di ulteriori decomposizioni, e con queste venir risolute in principii affatto simili; ma non conviene appoggiare le nostre dottrine a ciò che non è ancora scoperto.

89. Fra la Massa, la Densità, e il Volume di un corpo esiste una relazione la quale può esprimersi coll'equazione seguente

(A) $$M = VDm$$

dove M dinota la massa del corpo, cioè rappresenta il numero delle sue unità di massa;

V indica il numero delle sue unità di volume;

D il numero esprimente la densità;

m finalmente rappresenta il numero delle unità di massa che sarebbero contenute in un corpo che avesse l'unità di

volume, e l'unità di densità. Nel sistema metrico V sarebbe il numero de' metri cubici contenuti nel volume del corpo, e si avrebbe $m=1000$, giacchè un metro cubico d'acqua distillata, che è la sostanza cui si riferiscono le densità, ha la massa di mille chilogrammi.

Dimostrazione. Sia A' (Fig. 2) quel corpo che ha la densità 1, il volume 1, e la massa m; A quello che ha la densità D, il volume V, e di cui si indica la massa con M. Si vuol provare che questa M è uguale a VDm.

Si concepisca un terzo corpo Z, il quale abbia comune con l'uno de' precedenti il volume e coll'altro la densità, che abbia cioè il volume V, e la densità 1; e indichiamone la massa con M'. Se noi paragoneremo Z con A', vedremo che avendo uguali le densità, avranno le masse nella proporzione de' volumi; onde sarà

$$M' : m :: V : 1$$

da cui

$$M' = m\,V$$

Paragonando poscia il medesimo Z con A si scorgerà che avendo essi lo stesso volume, avranno le masse nella proporzione delle densità, e sarà

$$M : M' :: D : 1$$

da cui

$$M = M'D$$

e ponendo per M' il suo già trovato valore $m\,V$, sarà

$$M = mVD$$

che è quello che volevasi dimostrare.

Dalla Equazione (A) si ricavano queste altre due

$$(B) \qquad V = \frac{M}{Dm}$$

$$(C) \qquad D = \frac{M}{Vm}$$

le quali insieme colla (A) servono tutte le volte che, conoscendosi la m, ed essendo date due delle tre quantità M, V, D, vuolsi trovare la terza. Ecco due problemi relativi all'uso della prima formola.

Problema I. Quanta è la massa di una pietra di granito, il cui volume è metri cubici 1,50, e la densità riferita all'acqua distillata è 2,65; ammesso che un metro cubico di acqua distillata sia di 1000 chilogrammi?

Soluzione. La massa della pietra è di 3975 chilogrammi; cioè tale sarebbe il suo peso nel voto; nell' aria però ella pesa circa due chilogrammi meno.

Problema II. Bramasi sapere approssimatamente quanta sia la massa del globo terrestre, posto che esso si possa riguardare come una sfera del raggio di

6369809

metri, e che la sua densità media sia 5,48 volte quella dell'acqua distillata.

Soluzione. La massa del globo terrestre è prossimamente di chilogrammi

5 930000 000000 000000 000000

SEZIONE SECONDA

DELL' ATTRAZIONE

CAPO PRIMO

DELL'ATTRAZIONE IN GENERE, DELL'ATTRAZIONE UNIVERSALE, E IN PARTICOLARE DEGLI EFFETTI DELLA GRAVITÀ

90. Esiste nei corpi la singolare proprietà di avere *tendenza* ad accostarsi l'uno verso l'altro, e di tenersi uniti allorchè si trovano al contatto; e si chiama *Attrazione*, perchè i suoi effetti sono come se ciascun corpo traesse verso di sè gli altri.

Di tale Attrazione se ne distinguono due sorte. L'una ha luogo principalmente fra le grandi masse ed alle grandi distanze, e si dice *Attrazione universale* o di *Gravitazione;* l'altra in vece si manifesta solamente fra le piccole masse ed alle minime distanze, e chiamasi *Attrazione molecolare.*

91. Cominciando dall' Universale, i numerosi fenomeni che ne dipendono possiamo ridurli a quattro classi, cioè:

1.ª Fenomeni prodotti dalla tendenza dei corpi terrestri verso il globo della terra.

2.ª Leggiere attrazioni che mostrano l'uno verso l'altro i corpi situati alla superficie terrestre.

3.ª Moti dei corpi celesti.

4.ª Flusso e riflusso del mare.

Della Gravità e de' principali suoi effetti.

92. Dove l'Attrazione universale o di Gravitazione apparisce più manifestamente, si è fra il globo terrestre e i corpi situati alla sua superficie, vale a dire nella proprietà della *Gravità*.

La Gravità è quella tendenza che hanno tutti i corpi vicini alla terra o situati su di essa a discendere secondo linee che si dirigono prossimamente verso il suo centro. È questa tendenza comune a tutti questi corpi. Riguardo ai corpi solidi ed ai liquidi non è d'uopo provarla, riconoscendosi pesanti ad ogni momento; bensì pei fluidi aeriformi, stantechè il loro peso è assai tenue. Per l'aria se ne fa la sperienza pesando diligentemente un pallone di cristallo che sia stato votato d'aria, e quindi pesandolo di nuovo dopo avernelo lasciato riempire. E si è trovato che essa, a 0° R, alla pressione di 760 millimetri di mercurio, e a 45° di latitudine pesa $\frac{1}{770}$ dell'acqua distillata, cioè più precisamente, che in un metro cubico se ne contiene pel peso di chilogrammi 1,299075 (*): però alle ordinarie temperature è più leggiera; p. e., a +8° R, ella è circa 800 volte più leggiera dell'acqua.

93. Hannovi a vero dire dei corpi che in luogo di discendere si elevano all'alto, p. e. il fumo, e i palloni aerostatici; ma ciò non deriva dall'andare essi esenti dalla gravità, bensì dall'essere meno pesanti di un egual volume dell'aria da cui sono circondati; in quella guisa che un pezzo di legno posto sott'acqua, quando ad ugual volume sia di essa più leggiero, se ne torna a galla. Per maggiore intelligenza della qual cosa fa d'uopo sapere che, come si dimostra di proposito in quella parte di Meccanica che tratta del-

(*) Biot, *Traité de Physique*, t. I, p. 394.

l'equilibrio dei fluidi, i corpi circondati dall'aria, o da qualsivoglia altra sostanza fluida, sono da questa sollecitati verso l'alto con tanta forza quanto è il peso di un egual volume di essa sostanza. In conseguenza di che quando ad ugual volume essi pesano come il *mezzo* da cui sono circondati, vi stanno immobili; quando pesano di più tendono a discendere, perdendo però tanto peso quanto è quello d'un egual volume del mezzo; e quando pesano meno tendono all'alto, e con tanta forza ascensiva quanta è la differenza fra il loro peso e quello di un ugual volume del mezzo.

94. Libere dalla gravità sono solamente alcune pochissime sostanze, cioè (come si è già detto altrove) il Calorico, la Luce, l'Elettricità, e il Magnetismo; almeno non vi si è finora trovato peso sensibile. Ma di queste non si è ancor certi se siano veramente materiali.

95. Gioverà qui trattenerci alcun poco intorno al peso dell'aria, siccome quello che dà origine a fenomeni assai importanti. Dall'essere l'aria pesante ne deriva che la massa dell'atmosfera aggrava e preme tutta la superficie terrestre, premendo altresì tutti i corpi che su di essa si trovano sparsi. E questa pressione si trasmette ne' luoghi più reconditi, purchè sieno in comunicazione libera coll'aria esterna, nelle case, ne' sotterranei, nelle più profonde caverne; giacchè l'aria contenutavi viene alle aperture premuta dall'atmosfera e costipata e forzata a premere su tutti i punti delle pareti interne. Alcuni effetti di questa pressione si sono già veduti più sopra; perocchè è dessa quella che forza il mercurio a trapelare dal legno, quando di sotto siasi fatto il voto (§ 32), quella che tiene ristretta in un determinato volume l'aria contenuta in una vescica flaccida (§ 53). D'altri effetti passeremo a parlare ora.

96. Per misurare questa pressione serve una spe-

rienza immaginata primamente dal celebre Evangelista Torricelli. Consiste essa nel riempire di mercurio un tubo di vetro più lungo di 28 pollici e chiuso da una estremità, capovolgendolo quindi colla bocca in un recipiente che contenga altro mercurio. Quello del tubo scende alcun poco, tenendosi però circa 28 pollici più alto del livello esteriore. E ciò procede dalla pressione dell' atmosfera la quale preme sulla esterior superficie del mercurio, come farebbe una massa di questo liquido sovrappostavi ed alta 28 pollici. Questo apparecchio reso stabile costituisce il *Barometro*, che è uno strumento destinato a misurare la pressione dell' aria atmosferica, ossia anche il peso dell' atmosfera; giacchè la colonna d' aria che sta sovrapposta a una determinata superficie piana pesa sempre come una massa di mercurio che ricopra quella superficie elevandosi verticalmente a quella stessa altezza a cui tiensi ivi elevato il barometro. Conviene però badare che questo strumento sia ben privato d' aria e bene asciutto, il che ottiensi facendovi bollire il mercurio; e deesi avvertire di non misurare tutta la lunghezza del tubo occupata dal mercurio, ma solamente la differenza de' livelli esterno ed interno.

Serve comunemente il Barometro per dare un probabile pronostico del prossimo stato atmosferico, essendo la pioggia assai di sovente preceduta da diminuzione di peso nell' atmosfera e quindi da abbassamento del barometro, come all' incontro il sereno è per lo più preceduto da innalzamento del mercurio indicante un aumento di peso nell' atmosfera stessa.

97. La pressione dell' atmosfera sui corpi si rende sensibile in singolar modo cogli emisferi di Magdeburg.

98. Ma passando dall'aria ai corpi in genere, suole la gravità produrre in essi due sorte di effetti, *moto* cioè, e *peso*.

In quanto al moto noi n' abbiamo esempii nel vedere discendere verso la terra quasi tutti i corpi la-

sciati a se medesimi, quindi altresì le piogge, le grandini; nel vedere scorrere i fiumi, salire il fumo e i vapori, e in generale discendere tutti que' corpi che ad ugual volume sono più pesanti dell'aria o di quella sostanza fluida qualsivoglia da cui sono circondati, ed elevarsi quelli che ne sono più leggieri. Spetta alla Meccanica il mostrare le minute particolarità di questi moti; qui ci accontenteremo di alcuni cenni generali.

99. La direzione secondo cui, a cagione della gravità, tendono a cadere i corpi, si può riconoscere o per mezzo di un filo a pendolo o dalla superficie libera dei liquidi tranquilli; giacchè i fili de' pendoli prendono precisamente la stessa direzione della gravità, che dicesi direzione *verticale*, e le superficie de' liquidi si dispongono perpendicolarmente ad essa, cioè *orizzontalmente*. Si è poi trovato che tutte le direzioni de' corpi lasciati cadere liberamente da diversi luoghi, prolungate passano vicinissimo al centro del globo, schivandolo nulladimeno in generale alcun poco per l'imperfetta sfericità della terra. Dal dirigersi i corpi verso questo centro, segue che se ci fosse possibile di spingere la nostra vista attraverso al globo, e vedere ciò che avviene dirittamente sotto di noi cioè agli antipodi, scorgeremmo ivi cadere i corpi verso l'alto, mentre nelle parti del globo equidistanti da noi e dagli antipodi i corpi visti da noi parrebbono muoversi orizzontalmente; e similmente che in tutte le parti della superficie terrestre gli uomini e le case possono stare in piedi come fra noi, ergendosi perpendicolarmente alla superficie stessa. Essendo poi a distanza assai grande il centro del globo, ove le direzioni della gravità vanno prossimamente a riunirsi, si scorge che queste per più corpi fra loro vicini si possono riputar parallele.

100. Hanno i Fisici scoperto che la gravità non è ugualmente intensa in tutti i luoghi, ma che stando sopra uno stesso punto della superficie terrestre, ella

va indebolendosi a proporzione che si ascende a maggiori altezze, come pure ch'ella si indebolisce pei corpi che vengono portati, senza mutar l'elevazione sopra la superficie del mare, dai poli verso l'Equatore; hanno scoperto cioè, che a cadere d'un dato spazio nel vacuo, i corpi impiegano più tempo in un luogo che in un altro. Si impara nella Meccanica, come ciò sia stato svelato dal moto dei pendoli, e come la differenza dai poli all'Equatore tragga origine dal moto rotatorio della terra. È però da notarsi che nel vacuo e in un medesimo luogo tutti i corpi, qualunque ne sia la sostanza e la forma, cadono con la medesima prontezza.

101. Passiamo ora a dire qualche cosa del peso che è l'altro degli effetti che possono essere prodotti dalla gravità. Il peso adunque è *quello sforzo che i corpi impediti dal cadere esercitano sugli ostacoli che li trattengono*. Parlandosi del peso assoluto o nel voto, esso varia da corpo a corpo secondo la quantità di materia, e da luogo a luogo secondo l'energia della gravità. Per esempio un medesimo corpo pesa meno alla sommità d'una montagna o all'Equatore che non al piano o ai poli; ed è ben evidente che dove più viva è la tendenza dei corpi per discendere, debbano ivi esercitare un maggiore sforzo sui loro sostegni. Tolti poi i corpi fuori del vacuo, soffrono una diminuzione di peso o dall'aria che li circonda o dall'acqua o da quel fluido qualsivoglia in mezzo a cui si trovano, come si è già accennato poco sopra, e come si dimostra ne' trattati dell'equilibrio de' fluidi.

102. Nel rigoroso linguaggio fisico deesi distinguere il peso dalla gravità, siccome l'effetto dalla causa. Il che apparirà più chiaro da alcuni esempii. In un medesimo luogo diciamo che la gravità è uguale per un piccolo corpo e per un grande, stante che le parti dell'uno tendono a cadere verso la terra colla stessa

prontezza come le parti dell'altro; ma il peso è evidentemente diverso. In un corpo a' poli dicesi essere maggiore la gravità che in uno all'equatore, cadendo più prontamente i corpi in quel luogo che non in questo; e i pesi potranno essere uguali se il corpo ai poli si prenda convenientemente più piccolo. La gravità non si misura che dalla prontezza dei corpi a cadere nel voto, ma niente dalla lor massa. Il peso invece dipende dalla massa de' corpi e dall'intensione della gravità.

103. Servendo il peso de' corpi (e a rigore il loro peso assoluto) a misurare le masse loro, ed essendo sempre una grande massa accompagnata da molto peso, e una piccola da poco peso, n'è venuto che i *due* vocaboli *massa* e *peso* nel comune linguaggio sogliono confondersi insieme. Ma rigorosamente sono due cose assai diverse. Portando un corpo in qualsivoglia luogo avrà sempre la medesima massa, ma potrà variare moltissimo di peso. E all'incontro potrà un corpo su di un'alta montagna avere lo stesso peso di un altro al piano, mentre le masse saranno fra loro diverse.

104. Ma che è questa gravità? Si credeva un tempo ch'ella fosse una proprietà insita ne' corpi e indipendente da ogni cosa ad essi esterna, e che perciò sussisterebbe anche venendo distrutta la terra, proprietà in forza di cui i corpi avessero tendenza verso un punto fisso dello spazio, nel quale fosse collocato anche il centro del globo terrestre, non potendo questo pel suo peso venirne rimosso senza una enorme forza. Ma questa opinione si è ora abbandonata, e si ritiene invece che la gravità risulti da una tendenza generale della materia verso la materia, insensibile fra le piccole masse, ma grande e possente fra i corpi e l'immensa mole terrestre. In fatti, ammesso che siasi il moto di traslazione della terra, si scorge che seguendola i corpi ovunque ella si porti, e tendendo essi sempre verso

quel luogo ove il suo centro si trasferisce, nè più sentendo veruna tendenza verso quel luogo che da esso centro è stato abbandonato, si scorge, dico, che la gravità non può essere che una tendenza dei corpi verso la materia del globo terrestre. Oltre a ciò le attrazioni che si sono riconosciute verso le montagne e verso gli altri corpi esistenti alla superficie terrestre, del che parleremo fra poco, mostrano che tutta la materia si attrae vicendevolmente; onde anche la terra dee attrarre i corpi, e come grandissima indurre una propensione verso di sè incomparabilmente più forte che non si ravvisa fra due corpi di piccola mole.

Però questa attrazione è modificata alquanto dal moto rotatorio della terra, il quale ne rende minore alcun poco l'effetto, specialmente all'equatore. La gravità adunque è *la forza attrativa che sollecita i corpi verso il globo terrestre in conseguenza dell'attrazione universale, modificata alcun poco dal moto rotatorio del globo stesso.*

CAPO II.

DELLE ATTRAZIONI VICENDEVOLI DEI CORPI SITUATI SULLA SUPERFICIE TERRESTRE

105. Abbiamo testè accennato esservi dell'attrazione vicendevole anche fra i corpi terrestri. Egli è ben vero che dalle ordinarie osservazioni e sperienze ciò non apparisce; appendendo, p. e., due corpi a due fili vicini, non vi si scopre sensibile accostamento, e ponendoli su di una levigatissima superficie piana rimangono perpetuamente ai loro posti; ma ne è cagione l'essere la loro vicendevole attrazione estremamente piccola, talchè nel caso de' fili il loro ravvicinamento è sì piccolo che sfugge interamente all'occhio,

e nell'altro caso è assolutamente impedito dalla scabrezza che rimane alla superficie sottoposta. E in fatto dovettero gli Astronomi e i Fisici ricorrere a maniere di ben altra dilicatezza per venire a riconoscere siffatte attrazioni.

106. Cominciando dall'attrazione delle montagne, venne osservato nel 1737 dagli Accademici Parigini Bouguer e La Condamine che il monte Chimborazo nel Perù faceva deviare il filo a piombo de' loro strumenti di 7″ ½ dalla verticale. E similmente l'inglese Astronomo Maskelyne in una serie di diligentissime osservazioni fatte a piedi del monte Shehallien in Iscozia, trovò che l'attrazione di questo monte produceva una deviazione di 5,″8. E molte altre osservazioni di simil natura furono fatte da Boscovich, dal P. Beccaria, e da altri.

Lo scopo delle osservazioni di Maskelyne era quello di poter determinare la densità media del globo terrestre, deducendola dal paragone dell'attrazione del monte con quella della terra; e questa densità, secondo i calcoli fattine da Hutton, risultò 4 ½ volte quella dell'acqua. Il sig. Playfair però, in seguito ad un nuovo esame della natura mineralogica di quel monte, recò questo numero a 4,71 (*).

107. Per determinare questa densità media del globo instituì un altro genere di sperienze dilicatissime il sig. Enrico Cavendish, colle quali venne nello stesso tempo a rendere sensibile l'attrazione universale fra i piccoli corpi posti a qualche distanza. Consisteva il suo apparecchio in una specie di bilancia formata d'un braccio orizzontale del legno mogano (*mahogany*) siccome quello che può unire molta robustezza a molta leggerezza, sospeso ad un filo metallico che facilissima-

(*) Daubuisson, *Géognosie*, t. I, p. 28. — Gehler's *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, Leipzig, 1827. Art. *Erde*, t. III, p. 948.

mente si lasciava torcere o dall'una banda o dall'altra, e caricato alle due estremità di due palle di piombo appesevi. Tenevasi ella rinchiusa in una cassa di legno, perchè fosse al sicuro dall'urto dell'aria; ed esteriormente le si presentavano, a lato delle due palle di piombo, due grosse masse pur di piombo, le quali per mezzo di un conveniente meccanismo potevano muoversi di luogo, ed ora mettersi in tale posizione da potere colle loro combinate attrazioni sulle palle far girare la bilancia per un dato verso, ed ora trasportarsi in modo da produrre un moto contrario. Il tutto poi, perchè fosse meglio difeso dalle esteriori impressioni dell'aria e del calore, stava chiuso in una casetta lontana dai rumori; e l'osservatore moveva dal di fuori le due masse attraenti, ed osservava pur dal di fuori i moti della bilancia, illuminando una delle estremità del raggio di questa colla luce d'una lampada concentratavi da una lente, e guardandovi per mezzo d'un cannocchiale.

Con ciò Cavendish ottenne ed osservò effettivamente un moto prodotto dall'attrazione delle due masse di piombo sulle palle della bilancia, scorgendo che questa piegavasi sensibilmente ora per un verso ora pel contrario, fino a quel punto che il permetteva la resistenza del filo al torcimento.

108. L'oggetto suo però non era semplicemente di rendere sensibile l'attrazione universale, ma altresì di determinare, come si è detto, la densità media del globo; la quale dalle molte sue diligentissime osservazioni, e dai calcoli su di esse instituiti, risultò essere 5,48 volte quella dell'acqua (1). Però essendo stati questi calcoli recentemente riveduti da Hutton, venne il suddetto numero ridotto a 5,31 (2).

Per concepire come Cavendish potesse trarre quella

(1) *Philosophical Transactions*, 1798.
(2) *Idem*. 1821, p. 291.

conclusione, si consideri che egli dalla forma e dalla posizione dei globi attraenti rispetto alla bilancia, e dalla figura e grandezza della terra poteva per mezzo del calcolo stabilire in che proporzione avrebbero dovuto essere le attrazioni delle due masse di piombo rispetto a quella della terra, nel caso che questa fosse stata della medesima densità di quelle; e che dalla proporzione effettiva che la sperienza gli manifestò, egli poteva dedurre quante volte doveva la densità terrestre essere minore di quella delle masse suddette ossia del piombo.

Non vi ha invero un accordo abbastanza soddisfacente fra i risultamenti di Cavendish e quelli di Maskelyne; ma erano cotanto dilicate le sperienze sì dell'uno come dell'altro, che fu ben difficile lo schivare ogni causa d'errore. Fa poi meraviglia come il sommo Newton avesse col solo raziocinio conghietturato che la densità di cui trattasi fosse, conformemente alle sperienze di Cavendish, compresa fra le 5 e le 6 volte quella dell'acqua (*).

CAPO III.

DEI MOTI CELESTI

109. I più grandiosi effetti dell'attrazione universale sono quelli che essa opera nel cielo, dove ella è una delle cagioni regolatrici del moto di quelle enormi masse che vi veggiamo. Prima però di esporre cotesti suoi effetti, gioverà premettere alcune notizie sui corpi che ne sono il soggetto, cioè de' corpi che compongono il *Sistema solare*.

Chiamasi Sistema solare un' unione di diversi corpi celesti, formata dal Sole, e da varii astri che gli si

(*) *Princip. Mathem.* Lib. III, Prop. X.

aggirano d'intorno. Di questi corpi si possono far quattro ordini che sono 1.° il Sole, 2.° i Pianeti primarii, 3.° i Pianeti secondarii, 4.° le Comete.

110. Il Sole, quell' astro da cui riceve luce e calore tutto il sistema, è un globo luminoso che in diametro supera 110 volte la terra, e in volume 1350000 volte. Egli rota intorno a se medesimo in 25 giorni e 10 ore; il che si riconosce da alcune sue macchie, le quali si veggono muoversi sul suo disco precisamente come se fossero trasportate da una rotazione di questa durata. Insieme a questo moto esse vanno irregolarmente cangiando forma e grandezza, e talora scompajono, mentre altresì di quando in quando ne nascono di nuove. Furono esse primieramente scoperte da Cristoforo Scheiner, e dal Galileo; l'ultimo de' quali le stimava una specie di nubi che oscurassero qua e là la vivissima luce del globo solido sottoposto. Però secondo Herschell esse sono piuttosto de' vani o interruzioni di un' atmosfera luminosa, la quale riveste tutto all' intorno il Sole e il rende risplendente, pe' quali vani rimane scoperto il globo solido secondo lui oscuro.

111. I pianeti primarii sono corpi che girano direttamente intorno al Sole in orbite elittiche poco allungate. Presentemente se ne conoscono 11, i quali cominciando dai più vicini al Sole e passando per ordine ai più lontani sono i seguenti: Mercurio, Venere, la Terra, Marte, Vesta, Giunone, Cerere, Pallade, Giove, Saturno, Urano. Lasciando fuori la Terra, essi ci si mostrano nel cielo quai piccoli corpi luminosi, che si distinguono dalle *stelle fisse* pel loro mutar di posizione rispetto ad esse, e per una luce più blanda e priva di scintillazione, la quale non è lor propria, ma ricevuta dal Sole. Ma passiamo a dir qualche cosa in particolare di ciascuno.

1.° Mercurio è fra tutti il più vicino al Sole, ed essendo quasi sempre immerso nella luce dei crepuscoli, ad occhio nudo ben di rado è visibile.

2.° Venere è quel pianeta lucidissimo che talora segue il Sole dopo il suo tramonto e allora chiamasi *Espero*, e talora ne precede il nascere e si chiama *Fosforo* o *Lucifero*. Queste apparizioni sono prodotte dal suo trovarsi, mentre s'aggira intorno al Sole, ora rispetto ai riguardanti alla sinistra di esso, ed ora alla destra. Non cresce mai la sua apparente distanza dal Sole oltre ad un certo segno, e quando ne lo veggiamo più lontano, allora è presso a poco ch' esso ci si mostra più che mai risplendente.

3.° Segue a questi la nostra Terra, cui gira intorno un pianeta secondario o satellite che è la Luna. È la Terra, al pari di tutti gli altri pianeti primarii, dotata di due moti, l' uno di *rotazione* intorno al proprio asse, il quale avviene uniformemente da Occidente verso Oriente compiendo un giro in 23^{ore}. 56′. 4″,09 (di *tempo medio*), e l'altro di traslazione nello spazio, pel quale il suo centro dentro un anno compie una rivoluzione intorno al Sole.

Non accorgendoci noi nè dell' un moto nè dell' altro, ne nascono due illusioni. Primieramente quel cangiamento di posizione rispetto a noi che succede nei corpi celesti per la rotazione della Terra, noi il riferiamo ad un moto di questi corpi, i quali ci pajono girare *tutti* insieme da Oriente ad Occidente intorno all' asse terrestre, facendo un giro nel sopraddetto intervallo di quasi ventiquattro ore.

In secondo luogo il moto di traslazione o di rivoluzione intorno al Sole, ci fa sembrare che questo nella durata di un anno percorra nel cielo un cerchio detto l' *Eclittica*, movendosi un poco per giorno rispetto alle stelle fisse nella direzione da Occidente verso Oriente, cioè secondo l' ordine *diretto* de' segni dello Zodiaco. Atteso questo apparente annuo moto del Sole, dopo che la Terra dal mezzodì del giorno antecedente ha compiuta un' intera rotazione intorno a se stessa, non si trova ella ancora avere precisa-

mente il Sole al suo meridiano, ma dee a quest'uopo fare ancora qualche poco di giro. Con questo poco viene a terminarsi la durata del giorno; e dividendosi questa in 24 ore precise, nasce da ciò che il tempo di una rotazione è alquanto minore di ore 24, come si è veduto poco sopra. Non essendo poi uguali tutti questi tratti di cui apparentemente si avanza il Sole verso Oriente nei diversi giorni dell'anno, ne risulta nelle durate di questi giorni una leggiera diseguaglianza. Ond'è che gli Astronomi abbisognando d'una regolare misura del tempo, non fanno uso ne' loro calcoli di questi giorni apparenti o di *tempo apparente* (detto anche *tempo vero*) che vengono determinati dai passaggi del Sole pel meridiano; ma compensando tutte le ineguaglianze formano un giorno artificiale, col quale computano il tempo chiamandolo *tempo medio*.

4.° Alla Terra succede Marte, il quale si distingue per una particolare luce rossigna.

5.°, 6.°, 7.°, 8.° Vengono in seguito quattro piccoli pianeti di recente scoperta chiamati *Vesta*, *Giunone*, *Cerere*, *Pallade*, e con nome comune *asteroidi*. Vi ha chi li crede frammenti di un solo, il quale per qualche ignota cagione siasi spezzato. La scoperta di Cerere si dee all'Italiano Piazzi.

9.° Giove è il massimo de' pianeti, avendo un volume uguale a 1103 volte quello della Terra. Ha un bellissimo splendore argenteo; e gli fan corona quattro satelliti scoperti primamente dal Galileo.

10.° Saturno, alquanto minore di Giove nel diametro, ma molto più nello splendore, è cinto di sette satelliti, e d'un doppio anello.

11.° Urano, scoperto nel 1781 da Herschell, è fra i pianeti conosciuti il più lontano dal Sole ed il meno riconoscibile. Ha anch'esso sei satelliti.

Fra tutti questi pianeti Mercurio e Venere diconsi *inferiori*, siccome più vicini al Sole che non è la Terra; Marte e gli altri dopo lui si dicono superiori.

112. I pianeti secondarii o satelliti sono diciotto, e si aggirano intorno a diversi dei primarii, come abbiamo già veduto.

Quello che appartiene alla Terra, e che dicesi *Luna*, ci si volge intorno, contando il tempo di una rivoluzione siderea, in giorni 27 $^1/_3$ circa, ma ne impiega 29 $^1/_2$ a ritornare nella medesima posizione col Sole. Serve la sua luce a diminuire l'oscurità delle notti, e presso alcune nazioni sì antiche che moderne il suo moto ha servito e serve tuttora a distinguere i mesi. Presso noi, essendosi sostituite delle divisioni artificiali a ripartir l'anno, ella ha cessato da questo ufficio, ma continua ad essere utilissima in varie ricerche astronomiche, p. e. nella determinazione delle *Longitudini*.

Dipendono le sue fasi dal modo secondo cui si vede dalla Terra la metà illuminata della sua superficie, che sta sempre rivolta al Sole. Quando nel suo moto mensile ella viene a trovarsi fra la Terra e il Sole, allora ella non ci presenta che la parte oscura, e in questo caso la diciamo *nuova;* quando dopo un mezzo giro si trova in opposizione col Sole, allora ella volge direttamente verso noi la faccia illuminata, e noi diciamo ch' ella è *piena;* quando è nelle due posizioni intermedie alle menzionate, ella ci mostra metà della parte oscura e metà della illuminata, ed abbiamo il *primo* o l'*ultimo quarto*. Veggasi la fig. 3, dove S rappresenta il Sole, T la Terra, L, L′, L″, L‴ le diverse posizioni della Luna.

Talora, stando nel prolungamento della linea condotta dal Sole alla Terra, le vengono da questa impediti i raggi solari; ed allora dicesi ch' ella soffre *ecclisse*, fenomeno che non avviene se non in tempo di plenilunio. Talora in vece ella si trova sì direttamente fra la Terra e il Sole, che intercetta a noi i raggi di questo astro; in questo caso diciamo che il Sole è ecclissato, e questo fenomeno avvien sempre in novilunio.

Il suo disco si osserva sparso di molte macchie, le quali derivano da molte ineguaglianze o montuosità che si trovano sulla sua superficie, e fors'anche da laghi e mari. Queste montuosità furono anch'esse scoperte dal Galileo, il quale insegnò altresì a misurarne l'elevazione. Altri poi ne delinearono esattissime carte, fra cui meritano distinta menzione quelle del Cassini, dell'Hevelio, dello Schroeter, e del Lohrman. E a questo riguardo possiamo notare, che volgendosi la Luna intorno a se medesima nel medesimo intervallo di tempo ch'ella impiega a girare intorno alla Terra, la faccia che or più or meno illuminata ella tien rivolta verso la Terra è sempre presso a poco quella medesima, e noi siamo affatto ignari della sua figura posteriore.

113. Le Comete sono corpi celesti appartenenti esse pure al Sistema Solare, ma che non si lasciano vedere che ad intervalli. Vengono esse in generale da lontanissime regioni del cielo, e quando sono arrivate a tale vicinanza da ricever dal Sole e da riverberare a noi abbastanza di luce, si rendono visibili prima ai telescopii, e quindi, almeno molte, anche all'occhio nudo; facendosi poscia più vicine al Sole arrivano al loro più vivo splendore; dopo di che s'allontanano di nuovo, perdono di luce, e finalmente tornano a scomparire, per rimanere invisibili molti anni e talora qualche secolo. La curva che descrivono è una allungatissima elisse, che s'avvicina d'assai ad una parabola avente il suo foco nel Sole; e giace per lo più fuori della fascia dello Zodiaco, ove noi veggiamo contenute le orbite degli altri pianeti: ed alcune di esse camminano di moto contrario a quello de' pianeti, il quale rapportato alle stelle fisse da un osservatore collocato nel Sole ha sempre luogo, relativamente all'asse dell'eclittica, secondo l'ordine diretto de' segni dello Zodiaco.

La più parte delle Comete sogliono essere accompagnate da una lunga *coda* o *chioma*, che mostrano

tanto più ampia quanto più sono vicine al Sole. La tengono esse sempre rivolta dalla banda contraria a quella ov' è questo astro, quasi esso la respingesse; così mentre s' accostano al Sole l' hanno dietro e si dicono *caudate*, allontanandosene l' hanno dinanzi e son dette *barbute*, e talora trovandosi il nostro pianeta in certe particolari posizioni ce la mostrano a sè d' intorno e allor diconsi *chiomate* o *crinite*; quando poi si trovano lontanissime dal Sole la tengono più raccolta vicino a loro con una forma meno lontana dalla sferica. Sembra ch' ella sia una tenuissima atmosfera, incomparabilmente più rara della nostra; perciocchè ad onta di molti milioni di leghe di grossezza, non impedisce nè minimamente devia la luce delle stelle situate al di là di essa; e sebbene il suo splendore sembri indicare qualche densità, uopo è avvertire che potrebbe riverberare altrettanta luce una lamina d' aria comune, che avesse appena la grossezza di qualche miglio. La sua particolare natura e la ragione delle sue apparenze non è ancora ben conosciuta.

Di queste comete ve n' ha un grandissimo numero, ed ogni anno se ne mostrano di nuove. Ben poche però son quelle di cui si conoscano esattamente i moti; fra queste è da annoverarsi quella di *Enke*, che sta situata fra le orbite di Marte e di Giove, e che compie il suo giro in soli 1211 giorni; essa è notabilissima per avere ormai posta fuori di dubbio l' esistenza di un fluido sottilissimo sparso per gli spazii planetarii (*).

114. Per compiere il quadro de' corpi celesti faremo altresì qualche cenno delle stelle fisse.

Volgendo il guardo al cielo, oltre al Sole, ai pochi pianeti, e per avventura a qualche cometa, noi osser-

(*) Baumgartner, *Fisica*, t. II, § 5. — Gehler's *Physikalisches Wörterbuch*, Leipzig, 1825, artic. *Aether*, 274.

viamo una quantità innumerabile di piccoli corpi luminosi tutti scintillanti. Son questi le *stelle fisse*, e si credono altrettanti soli risplendenti di luce propria, intorno a cui si rivolgano altri pianeti opachi che da essi ritraggano lume e calore. La diversità che si osserva nello splendore dall'una all'altra, si attribuisce parte alla diversa grandezza e alla diversa natura, e parte anche alla differenza nelle loro distanze da noi. Queste distanze sono però in tutte grandissime, cioè di più bilioni di miglia per lo meno, come si è riconosciuto sì col guardarle da due opposti punti dell'orbita terrestre, come altresì paragonando l'intensione della loro luce colla luce solare. Si osservano in esse molte particolarità; taluna cangia periodicamente di luce, e dà forte sospetto di un moto di rotazione intorno a se medesima; taluna si muove intorno a qualche altra sua vicina; ve ne furono di quelle che scomparvero, siccome all'incontro ne comparvero talora di nuove.

Sonosi esse per comodità distinte dagli Astronomi in tanti gruppi detti *costellazioni*. Dodici di queste formano la fascia circolare dello *Zodiaco*, la quale guardata dal Sole o anche dalla Terra contiene le orbite di tutti i pianeti, ad eccezione di quelli ultimamente scoperti fra Marte e Giove; e sono quelle che enumerate da occidente ad oriente, cioè secondo il verso in che si muovono i pianeti, hanno i nomi di *Ariete, Toro, Gemini, Cancro, Leone, Vergine, Libra, Scorpione, Sagittario, Capricorno, Aquario, Pesci.*

Quella luce uniforme che rende luminosa una parte del cielo detta la *via lattea*, co' telescopii si trova essere anch'essa un'unione di tante minutissime stelle. Si crede poi da molti Astronomi che tutte le stelle che possono separatamente discernersi coll'occhio e col telescopio, unitamente a quelle della via lattea, formino un unico aggregato separato per immensi intervalli da molti altri somiglianti aggregati sparsi pel cielo, i quali

poi sieno quelli che dall' apparenza si chiamano *stelle nebulose*. L' Herschell per altro sostiene che la via lattea e le nebulose non siano unicamente composte di minutissime stelle, ma anche d'una specie di atmosfera luminosa.

115. Si osserva nel cielo, specialmente verso l'equinozio di primavera, una languida luce bianca visibile avanti il nascere o dopo il tramontare del Sole, e alla quale si dà il nome di *luce zodiacale*; ella ci presenta la stessa apparenza di una sferoide di rivoluzione col diametro equatoriale grandissimo, ma molto compressa ai poli, e il cui centro e il cui equatore sieno gli stessi di quei del Sole. Si crede formata da un fluido estremamente raro diffuso in uno spazio dell'accennata figura.

116. Ella è finalmente opinione di molti che negli spazii a noi più vicini vadano movendosi molti altri piccoli corpi, invisibili per la loro piecolezza, ma che di quando in quando venendo ad entrare nell'atmosfera terrestre ci si rendano visibili. E questi sono, secondo loro, i *bolidi*. Ma di essi noi parleremo altrove.

117. Fra i suddetti corpi quelli di cui si conoscono con precisione i moti, sono quei che compongono il sistema solare e principalmente i pianeti, siccome quelli intorno a cui già da gran tempo si va incessantemente studiando.

Da quanto risultò dopo tante indagini, hannovi in ciascuno de' pianeti primarii due distinti moti, l'uno di rotazione intorno ad una retta che passa pel di lui centro di gravità e che dicesi l'*asse* del pianeta, l'altro di rivoluzione intorno al Sole.

I moti di rotazione sono tutti uniformi, però diversamente veloci l'uno dall'altro. Per loro cagione in varii pianeti, p. e. nella Terra e in Giove, nasce uno schiacciamento ai *poli*, vale a dire un accorciamento dell'asse intorno a cui rotano. È poi degno di osservazione che tutti questi moti rotatorii, come altresì tutti

quelli di rivoluzione sì de' pianeti primarii che de' secondarii (trattine forse que' de' satelliti di Urano) considerati dai loro rispettivi centri di moto, si effettuano secondo un medesimo verso, cioè secondo l'ordine diretto de' segni dello Zodiaco.

Relativamente ai moti di rivoluzione, sonosi trovate dal celebre Keplero le tre famose leggi che da lui s'appellano e che sono le seguenti:

1.ª *Tutti i pianeti primarii descrivono orbite elittiche con uno de' fochi nel Sole.*

2.ª *Le aree descritte dai raggi vettori sono proporzionali ai tempi.* Chiamasi *raggio vettore* dell'orbita d'un pianeta quella retta di variabile lunghezza che unisce il centro del pianeta col centro del Sole; ed *area descritta dal raggio vettore* quello spazio superficiale che verrebbe a generarsi, se durante il moto del pianeta il raggio vettore lasciasse indietro traccia di sè. Ora in un dato pianeta, partendo il raggio vettore da una posizione data, va quest'area crescendo nella proporzione diretta semplice del tempo. Segue da questa legge che la velocità d'un pianeta nei diversi punti della sua orbita non è sempre uguale, ma uno che lo guardasse dal Sole lo vedrebbe tanto più lento quanto più fosse lontano; e le velocità angolari sarebbero in *ragione reciproca duplicata delle distanze.* Guardando però questi moti dalla terra, le apparenze loro sono troppo complicate e noi non ne faremo parola.

3.ª *I tempi periodici impiegati da più pianeti a percorrere le loro orbite sono nella ragione delle distanze medie moltiplicate per le loro radici.* Que' pianeti perciò che hanno le orbite più estese o che sono più distanti dal Sole impiegano maggior tempo nel percorrere l'intero lor giro; non però semplicemente nella proporzione della maggior estensione dell'orbita, ma in una ragione più grande, attesa una maggiore lentezza nel muoversi.

118. Questi moti di rivoluzione sono l'effetto di due cagioni insieme combinate, cioè di una primitiva spinta projettile, e dell'attrazione del Sole. Nè l'una nè l'altra separatamente avrebbe bastato; la sola attrazione avrebbe fatto cadere i pianeti di moto rettilineo nel Sole; e la spinta projettile, senza l'attrazione, gli avrebbe mossi in tante linee rette con velocità costanti, per cui essi dopo essersi forse in sul principio avvicinati alquanto al Sole se ne sarebbero poscia allontanati continuamente; e quest'ultima cosa avverrebbe pure in qualsivoglia tempo, se mai l'attrazione del Sole venisse a cessare; giacchè i pianeti dopo l'istante in cui fosse cessata tale attrazione, proseguirebbero per l'inerzia ad avanzarsi in linea retta secondo la tangente alla curva che prima descrivevano, e colla velocità che possedevano a quell'istante medesimo. In vece se un pianeta appena ricevuta una primitiva spinta secondo una retta AB' (fig. 4) venga attirato verso il Sole S, non gli permetterà questa attrazione di avanzarsi sulla AB', ma lo farà piegare e muovere secondo un curva AB, nel modo che fa la gravità con una pietra lanciata orizzontalmente; percorso l'arco AB, tenderà il pianeta per l'inerzia a proseguire il suo viaggio secondo la tangente BC', ma l'attrazione il devierà ancora, e gli farà descrivere un altro arco curvilineo *BC*; nè dopo questo il lascierà continuare per la tangente CD', ma seguirà a torcerlo, e così continuamente; per modo che esso pianeta dovrà descrivere una linea curva sempre rivolta colla sua concavità verso il Sole. Il dover poi questa curva essere un'elisse con uno de' fochi nel Sole, come anche la forma particolare di questa elisse, e la sua giacitura nello spazio sono cose che dipendono; 1.° dalla legge dell'attrazione, cioè dal modo con cui ella decresce allo allontanarsi dei corpi dal Sole; 2.° dalle condizioni della forza projettile, cioè dalla sua grandezza, dalla sua direzione, e dal luogo ove trovavasi il pianeta quando essa, supposta istantanea, operò su di lui.

119. Tutto quanto si è detto dei pianeti primarii, si può estendere anche alle Comete, le quali si possono considerare esse pure del loro numero, non avendo altro di particolare che un molto maggiore allungamento nell'elisse che descrivono, e sovente una più grande inclinazione del piano di essa col piano dell' orbita terrestre, inclinazione che spesso le fa uscire dallo Zodiaco e talora le rende retrograde.

I pianeti secondarii descrivono anch' essi delle orbite elittiche intorno ai pianeti primarii con uno de' fochi in questi ultimi; e le leggi dei loro moti e le cagioni sono del tutto somiglianti. È però da osservarsi che i loro moti intorno ai rispettivi pianeti primarii sono assai più lenti e quindi i tempi periodici di questi moti assai più lunghi di que' che avrebbero luogo per pianeti fittizii che s'aggirassero direttamente intorno al Sole, a distanze medie da questo uguali a quelle de' suddetti pianeti secondarii dai rispettivi primarii, e supposta la massa del Sole opportunamente condensata in minore spazio affinchè il troppo volume non si stendesse sino ad impedire i moti di questi pianeti fittizii. Di qui gli Astronomi hanno potuto riconoscere che i diversi pianeti primarii, intorno a cui se ne aggirano dei secondarii, esercitano, a parità di distanza, una forza attrattiva molto più debole che non il Sole, e che quindi hanno altresì una molto minor massa: oltre a ciò essi hanno potuto determinare i rapporti numerici delle masse di tutti questi pianeti primarii dotati di satelliti. Così hanno trovato che la Terra ha una massa che è $\frac{1}{345000}$ di quella del Sole, e che le masse di Giove, di Saturno e di Urano sono maggiori di quella della Terra l'una 322 volte, l'altra 98 volte, la terza 18 volte.

120. Questa forza attrattiva non si esercita solamente dal Sole verso i pianeti primarii e le Comete, e dai pianeti primarii verso i secondarii, cioè dai corpi maggiori verso i minori; ma altresì ha luogo re-

ciprocamente dai pianeti secondarii verso i primarii, e *dai* pianeti primarii e dalle Comete verso il Sole, e si attraggono pure fra loro tutti i pianeti sì primarii che secondarii. In generale ogni corpo del Sistema solare viene attirato da tutti gli altri, secondo diverse direzioni e con diverse forze secondo le posizioni di questi ultimi e le loro masse. Di qui è che la Terra non obbedisce unicamente all'attrazione del Sole, ma alcun poco anche a quella di Giove, che dopo il Sole è il massimo corpo del sistema solare, ed altresì qualche poco a quella di Saturno, di Venere, ec., come anche del medesimo suo satellite, cioè della Luna; e la sua orbita non è una esattissima elisse, ma solo prossimamente, attese le perturbazioni prodotte da queste minori attrazioni. E questo che diciamo della Terra, avviene di qualsivoglia altro pianeta.

Il Sole medesimo sente gli effetti dell'attrazione degli altri pianeti, e principalmente di Giove; per cui esso, in forza anche di una spinta primitiva, non istà col suo centro perfettamente immobile in un medesimo luogo, ma oltre al moto rotatorio ne ha pure uno di traslazione: però ei si tiene col suo centro sempre vicinissimo a quel punto che dicesi il *comun centro di gravità del Sistema solare*, punto intorno al quale si effettuano tutti quanti i moti sopra accennati, e il quale poi non sappiamo se sia assolutamente immobile, o se con tutti i corpi del sistema si muova di moto uniforme e rettilineo verso qualche regione del cielo (*).

(*) Intorno a varie particolarità dei corpi celesti si può consultare la Tavola degli elementi di questi corpi posta in fine del volume.

Considerazioni generali sull' attrazione universale.

121. La legge secondo cui opera l'attrazione universale fu primieramente scoperta da Newton, il quale considerando il moto della Luna e di tutti gli altri pianeti primarii e secondarii venne a ritrovare che *tutti i corpi dell' universo si attraggono vicendevolmente in ragione diretta delle masse e reciproca dei quadrati delle distanze.* Procuriamo di spiegare il significato di queste espressioni.

122. *Tutti i corpi dell' universo si attraggono vicendevolmente.* Ciò significa che qualsivoglia corpo della natura viene attratto più o meno da tutti gli altri. La nostra Terra, oltre l'attrazione del Sole che è di gran lunga la più forte, sente altresì quella di tutti gli altri pianeti, e delle comete, oltre a qualche debolissima azione delle stelle fisse sebbene a noi del tutto insensibile. Ciascun corpo terrestre oltre all'aver tendenza verso il nostro globo, viene altresì attratto da tutti i corpi vicini. E viceversa ogni corpo attrae verso di sè tutti gli altri: il Sole, tutti i pianeti, le stelle fisse sono chiamati verso la Terra; e qualsivoglia corpo terrestre chiama a sè, sebbene con forze estremamente deboli, i corpi vicini, le montagne, e lo stesso globo terracqueo.

Per una poi delle leggi del moto, per quella cioè *che ad ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria*, tanta è la forza colla quale un corpo attrae un altro, quanta quella con cui a vicenda ne viene attratto. Se la Terra e la Luna venissero fermate dai loro moti, e fosse loro posta frammezzo una verga inflessibile, sarebbe questa ugualmente premuta ad ambedue le estremità e se ne starebbe immobile. Però queste due uguali forze, se i due corpi sono dis-

eguali, producono in essi delle velocità differenti, cioè una maggiore nel più piccolo, una minore nel più grande. Se p. e. la Luna e la Terra, supposte prima tenute in quiete, si lasciassero in balìa della lorò vicendevole attrazione, esse andrebbero accostandosi con velocità molto diverse e la Luna sarebbe la più veloce.

123. *In ragione diretta delle masse.* Supposta determinata la distanza fra i due corpi che si attraggono, la loro attrazione è tanto più grande quanto maggiori ne sono le masse. Però altro è l'effetto delle masse sul peso con cui i due corpi gravitano l'uno verso l'altro, altro l'effetto sulle velocità dell'avvicinamento.

La velocità dell'accostamento dipende unicamente dalla massa attraente, e nulla da quella attratta. Se la Luna crescesse di massa quanto si voglia non verrebbe minimamente ad alterarsi il tempo ch'ella impiegherebbe a cadere liberamente per un dato spazio verso la Terra; bensì s'affretterebbe il suo moto quando s'aumentasse la massa della Terra.

Il peso invece dipende tanto dalla massa attraente quanto dalla attratta, ed è in ragione diretta semplice del loro prodotto. Se la Luna e la Terra, supposte ritenute coi loro centri in due punti fissi dello spazio, venissero aumentate di massa in guisa che la massa della prima divenisse tripla e quella della seconda quadrupla rispetto a quello che erano ciascuna, diverrebbero con questo dodici volte più grandi i due uguali pesi con cui esse premerebbero gli ostacoli che ne impedissero l'avvicinamento.

124. *E in ragione reciproca de' quadrati delle distanze.* Ciò vuol dire che prese due molecole materiali, e poste a diverse distanze l'una dall'altra, le quali crescano come i numeri 1,2,3,4, . . . n, ec., la forza con cui si attraggono va diminuendo nella ragione de' numeri, $1, \frac{1}{4}, \frac{1}{9}, \frac{1}{16}, \ldots \frac{1}{n^2}$. In generale messe

tali molecole a due distanze diverse, la forza con cui si attraggono alla distanza maggiore è tante volte più debole di quella alla distanza minore, quante volte il quadrato della maggiore distanza contiene il quadrato della minore.

Quello che diciamo delle semplici molecole vale altresì per le sfere, quando però ciascuna abbia densità uniforme in tutte le sue parti, o almeno abbia uguale densità in tutti i punti equidistanti dal centro; si attraggono cioè queste sfere in ragione reciproca duplicata delle loro distanze da centro a centro. La ragione si è che componendo insieme tutte le particolari attrazioni esercitate dalle diverse parti di una di siffatte sfere verso un qualsivoglia punto esteriore, se ne ha la stessa forza totale, come se tutta la massa della sfera venisse a concentrarsi nel proprio centro di figura (*). Quindi è che se due di tali sfere si attraggono a vicenda, potrebbe condensarsi nel proprio centro prima l'una e poscia anche l'altra, senza che nè la prima nè la seconda condensazione portasse nessun cangiamento nelle totali attrazioni. L'attrazione perciò fra due di tali sfere, a tutte le distanze a cui vengono recate, è la stessa come se ambedue le loro masse fossero concentrate ne' rispettivi centri; e al cangiarsi di queste loro distanze ella va mutandosi di grandezza nella ragione reciproca dei quadrati delle distanze fra i centri stessi. Ciò è di una grande comodità nel calcolo dei moti celesti; giacchè essendo tutti i pianeti di una figura prossimamente sferica, si può nella più gran parte dei casi considerare le loro masse come riunite ne' rispettivi centri di figura.

125. In questa maniera di decremento consiste propriamente la importantissima scoperta di Newton. Questo grand'uomo, ammessa la supposizione che la Luna sia pesante, e che la sua gravità sia appunto quella

(*) Newton, *Princip. Mathem.* Lib. I, Prop. 74.

che ne piega il moto intorno alla Terra, venne a riconoscere dalla velocità che ha questo satellite, che se fosse lasciato cadere verso la Terra percorrerebbe in sul principio appena $\frac{1}{3600}$ di quello spazio che in pari tempo verrebbe percorso da un grave alla superficie terrestre; e che perciò alla sua altezza, ossia alla distanza di 60 raggi dal centro della Terra, la gravità ha appena $\frac{1}{3600}$ di quella energia che essa ha alla distanza di un sol raggio; vale a dire che passando dalla superficie terrestre al centro Lunare ella decresce in ragione reciproca de' quadrati delle distanze. Facendosi poscia ad esaminare i moti de' pianeti primarii, trovò che le loro leggi sono precisamente quelle stesse che dovrebbero aver luogo nel caso che questi corpi venissero attratti verso il Sole con forze reciproche ai quadrati delle distanze da esso. E proseguendo le sue ricerche riconobbe che cotesta legge d'attrazione soddisfa eziandio compiutamente a' moti delle Comete, a quelli de' pianeti secondarii, al flusso e riflusso del mare, e ad altri fenomeni che noi ommettiamo. Dopo Newton poi questa legge andò sempre vieppiù confermandosi, ed ogni nuova particolarità che venne a scoprirsi in questi fenomeni fu sempre un nuovo argomento in suo favore; anzi alcune volte il calcolo precorrendo l'osservazione indovinò per mezzo di essa alcune cose, che poi dal fatto vennero verificate.

126. Vi furono alcuni i quali si affaticarono a cercare una causa a questa attrazione, tentando di farla dipendere da qualcuna delle cagioni più comuni del moto, p. e. dall'urto di qualche sostanza invisibile e sottilissima. Ma le ipotesi da essi a questo oggetto immaginate sono bensì ingegnose, ma non appoggiate a veruna prova. D'altronde queste ricerche sembrano inutili pe' nostri bisogni, ora che la legge dell'attrazione è pienamente conosciuta. Newton poi intorno a questo punto nulla pronunciò, ammettendo l'attrazione dei corpi siccome un fatto provato dall'esperienza, e

confessando liberamente di ignorarne la causa. E noi lo seguiremo, nè ci affanneremo a voler sapere se questa proprietà sia *primitiva* o dipendente immediatamente dalla volontà del Creatore, oppure s'ella sia una conseguenza di qualche altra a noi ignota; bensì considereremo un momento con quanta provvidenza ella sia stata assegnata alla materia. Se questa forza venisse a cessare, grandissimo sconcerto ne verrebbe in tutta la natura, anzi una totale dissoluzione; la Terra si allontanerebbe indefinitamente dal Sole, e perderebbe i beneficii del suo calore e della sua luce; la Luna abbandonerebbe anch'essa la Terra; questa rotando intorno a se medesima, per la tendenza de' corpi al moto rettilineo, perderebbe l'atmosfera, le acque de' fiumi e de' mari, e tutti i corpi staccati, scaglierebbe nello spazio gli uomini e gli animali, e lo stesso suo nucleo solido si scioglierebbe e si disperderebbe in mille direzioni.

CAPO IV.

DEL FLUSSO E RIFLUSSO DEL MARE

127. Dall'Attrazione universale dipende pure il singolar fenomeno del Flusso e Riflusso del Mare.

È questo un moto periodico delle acque marine, le quali alternativamente si alzano e si abbassano due volte al giorno. Per circa sei ore esse si alzano e si spandono sulle spiagge, nelle sei seguenti si abbassano e si ritirano, per salire nelle altre sei successive, e quindi nelle ultime sei discendere. L'alzarsi dicesi il *flusso*, e l'abbassarsi il *riflusso*. Stanno però qualche tempo immobili sì dopo salite che dopo discese; cioè corrispondentemente alla massima e alla minima altezza del mare.

128. Si osservano principalmente in questo moto due periodi, il *diurno* e il *mensile*. Il periodo diurno,

non precisamente uniforme, è per termine medio di 24 ore e 49 minuti, durante il qual tempo il flusso e il riflusso accadono due volte; e questo intervallo è il preciso tempo che la Luna impiega a fare l'apparente suo giro diurno intorno alla Terra. Il periodo mensile consiste nell'essere più grandi le maree poco dopo i novilunii e i plenilunii, e più piccole poco dopo le quadrature. Il che fa già comprendere esservi una grande connessione fra questo fenomeno e il moto della Luna.

Le cause che gli danno origine sono due; l'attrazione cioè della Luna e quella del Sole; però, attesa la molto minor distanza della Luna a noi, l'azione di quest'*ultima*, benchè di massa incomparabilmente più *piccola*, è assai maggiore. Noi cominceremo a mostrare in qual modo operi l'attrazione Lunare, poi passeremo a vedere come l'effetto venga modificato dall'azione del Sole. Però non cercheremo che di esporre e di rendere sensibile all'immaginazione ciò che da altri per mezzo di difficili calcoli si è trovato; giacchè non è possibile il darne rigorose dimostrazioni per mezzo di sole dottrine elementari di matematica.

129. Supponiamo adunque primieramente che *abcd* (fig. 5) sia un globo solido circondato tutto all'intorno *da un liquido* omogeneo e di minore densità della sua, il quale venga attratto verso il suo centro T; e supponiamo che dapprincipio non abbia luogo su questa massa veruna azione esteriore, e che il centro del globo solido sia tenuto immobile. È ovvio il vedere che in questo caso il liquido superficiale, in conseguenza dell'attrazione verso l'unito globo solido, gli si disporrà tutto all'intorno in guisa da formare uno strato di uniforme grossezza.

Concepiamo ora che il globo solido con tutto il liquido che il circonda, dopo essere rimasto qualche tempo nello stato precedentemente considerato, venga ad un tratto a provare in tutti i suoi punti l'attra-

zione di gravitazione verso un corpo L esso pure sferico. È chiaro che quando questa attrazione operasse colla medesima energia verso tutte le parti del corpo attratto e secondo direzioni tutte parallele, questo corpo attratto si moverebbe in guisa che il liquido continuerebbe a mantenerglisi distribuito uniformemente tutto all'intorno; poichè in forza di essa attrazione tutte le parti della total massa ABCD tenderebbero a muoversi parallelamente le une alle altre e con uguali velocità; onde se anche fossero incoerenti, se mancassero cioè della vicendevole attrazione che coopera a mantenere la forma sferica, tutte conserverebbero la medesima posizione relativa, e la forma della massa totale non si cangerebbe; tanto più poi ciò avverrebbe avendo luogo fra tali parti questa vicendevole attrazione.

Ma siccome le diverse parti della massa ABCD vengono attratte verso il centro del globo L in direzioni convergenti, e con forze di diversa intensione secondo le loro distanze da esso centro attraente, ne dee avvenire che stando tal massa ABCD per qualche tempo in balía di questa attrazione, il liquido si eleverà sopra il nucleo solido sì dalla banda più vicina al globo attraente L che dalla più lontana, e si deprimerà nelle parti laterali, e la total massa da sferica diverrà allungata, mostrando allungamento nella direzione AC (fig. 6.) e restringimento nell'altra BD. In fatti se le molecole del liquido fossero staccate e lontane le une dalle altre e non attratte dal globo solido *abcd*, ma solamente disposte in sul principio uniformemente intorno ad esso, in questo caso quelle fra esse che si trovassero presso a C cioè dalla banda più vicina ad L, sentendo verso questo corpo L un'attrazione più energica di quella che provano, a parità di massa, le molecole del globo *abcd*, descriverebbero nel loro moto uno spazio maggiore che non farebbe in pari tempo il centro T, e si solleverebbero al di sopra

del globo solido medesimo. E all'incontro quelle dalla banda A più lontana verrebbero per la minore energia dell'attrazione lasciate indietro, e però si solleverebbero esse pure. Quelle poi che fossero in B, e in D lateralmente all'asse AG, a motivo della convergenza delle rette secondo cui sono attirate, si ravvicinerebbero le une alle altre. Siccome però il liquido viene attirato anche dal globo solido *abod*, dalla quale azione viene sollecitato a tenerglisi raccolto e distribuito uniformemente tutto all'intorno, così non può esso ubbidire interamente alla cagione tendente a produrre l'allungamento, ma soltanto fino a quel segno che il permette questa contraria forza tendente a conservare la forma sferica; la qual forza tanto più poderosamente si oppone all'allungamento suddetto quanto più esso si accresce, e infine arriva a trattenerne l'ulteriore accrescimento. Ad onta nulladimeno di questa opposizione non manca d'aver luogo un allungamento sensibile nel verso che si è già indicato, e come viene rappresentato dalla fig. 6.

130. Siamo però ancora lontani dal caso reale della Terra colla Luna, mancando ancora la considerazione del moto rotatorio del globo attratto, e del suo moto di traslazione. Per avvicinarci d'un primo passo al vero *stato delle cose*, supponiamo che la massa ABCD (fig. 7), in tanto che è attratta verso L, vada aggirandosi intorno a se medesima secondo il verso indicato dalla piccola freccia; e procuriamo di rendere sensibile come esso debba in questo caso presentare continuamente una elevazione ne' punti E ed F situati come mostra la figura, e una depressione nei punti situati alla distanza di 90° da questi.

Se adunque il liquido che ricopre il solido *abcd* obbedisse prontamente all'azione che tende a sollevarlo à dalla banda più vicina al corpo L che dalla più lontana, e a deprimerlo nei due punti che da queste sono equidistanti, in tal caso la massa ABCD presen-

terebbe sempre le due elevazioni e le due depressioni nel modo indicato dalla fig. 6, e ciascuna molecola della sua superficie si andrebbe elevando a proporzione che si avvicinasse alla posizione G o alla A, e deprimendo dopo oltrepassati questi punti fino a tanto che arrivasse in B o in D, dove sarebbevi la massima depressione. Ma non ha il liquido questa prontezza, e non si presta che lentamente a quell'azione; dal che avviene che le diverse molecole di esso arrivano alla lor massima distanza dal punto T non già precisamente quando passano per la retta TL, ma qualche tempo dopo; in guisa che la massima elevazione di esso liquido, dalla banda più vicina al corpo attraente, esiste fuori della suddetta retta TL, in un certo punto F (fig. 7), al quale le molecole liquide arrivano alquanto tempo dopo ch' esse hanno oltrepassata la TL. Succede una cosa somigliante in una gran parte de' fenomeni naturali, ne' quali il massimo dell'effetto suole in generale essere posteriore al massimo della causa. Il maggior calore della giornata, p. e., si ha dopo il mezzodì, e i più caldi giorni della state vengono dopo passato il solstizio di giugno. In questi due casi, quantunque la causa riscaldante cominci a scemare, ella prosiegue però ancora per qualche tempo ad aggiungere all'effetto prodotto coll'azione precedente. Nella stessa guisa anche il massimo elevamento del liquido che cinge il globo solido *abcd*, ha luogo dopo ch' esso liquido ha passata la posizione ove dal corpo attraente L è sollecitato colla massima efficacia ad elevarsi. Un somigliante trasporto avviene anche riguardo alla successiva depressione del liquido; il quale arriva al suo punto più basso o più vicino a T non già allorquando giunge alla retta condotta per T perpendicolarmente a TL, ma bensì giungendo in un punto H, dopo oltrepassata questa perpendicolare. E così pure vengono trasportati a punti posteriori la seconda massima elevazione e la seconda massima depressione, le

quali hanno luogo rispettivamente in due punti E e G a cui le molecole liquide arrivano dopo avere oltrepassato il prolungamento della TL e la retta condotta per T perpendicolarmente a TL. Segue da ciò che il globo girante coperto dal liquido ed attratto dal corpo L deve prendere una forma simile a quella indicata dalla figura 7.

131. Premesse queste cose, veniamo finalmente al moto reale della Terra, la quale però supporremo per qualche momento coperta uniformemente dalle acque del mare. Concepiamo che essa sia rappresentata da T (fig. 8); ch'ella si muova intorno al Sole S percorrendo l'orbita ABC nella direzione indicata dalla figura; e che mentre ella gira intorno a se stessa per la rotazione diurna nel verso che pure si vede indicato, le si rivolga intorno col suo giro mensile la Luna L nella direzione mostrata pur essa dalla figura.

Supposto da principio che la Terra si trovi in T e la Luna in L, tenderà quest'ultima colla sua attrazione a trarre la prima fuori della sua orbita; e inoltre operando più possentemente sulle parti più vicine, più debolmente sulle medie, e più debolmente ancora sulle più lontane, produrrà nella superficie terrestre due elevazioni, le quali avranno successivamente luogo in tutti i diversi punti di lei qualche tempo dopo d'esser passati al di sotto di L, e qualche tempo dopo d'essere passati dalla posizione direttamente contraria ad L; ossia avranno luogo una volta dopo che la Luna col suo apparente moto diurno intorno la Terra avrà oltrepassato il meridiano al di sopra di que' luoghi, e si sarà recata alquanto ad Occidente, e una seconda volta dopo che ella avrà fatto un altro apparente mezzo giro. Intermedie poi alle massime elevazioni succederanno le massime depressioni.

Quando la Luna dopo un quarto del suo giro mensile sarà arrivata nella posizione L', tenderà ad accelerare il moto della Terra T' sollecitandola nella di-

rezione del moto già da essa posseduto; e qui pure operando più energicamente sulle parti più vicine che sulle medie e più ancora che sulle più lontane, produrrà sul globo terrestre due elevazioni, l'una alla parte anteriore e più vicina, e l'altra alla posteriore; le quali elevazioni però non avverranno in quelle posizioni precise, ossia quando i diversi paesi della Terra sono direttamente sottoposti alla Luna, o ne sono dalla banda contraria, ma qualche tempo dopo, cioè alcun tempo dopo che la Luna ha passato il meridiano superiore o l'inferiore dei paesi medesimi.

Lo stesso avverrà quando la Luna essendo in L'' tenderà a recare la Terra T'' al di dentro dell'orbita, e quando essendo in L''' tenderà a ritrarla indietro e a ritardarne il moto. In ogni caso le massime elevazioni avranno luogo quando la Luna avrà oltrepassato di alcun poco il meridiano superiore o l'inferiore dei diversi luoghi; e nei tempi di mezzo succederanno le massime depressioni. E lo stesso sarà di tutte le posizioni obbliqne che la Luna potrà avere relativamente alla direzione dell'orbita terrestre.

132. Abbiamo fin qui supposto che la parte solida della Terra sia perfettamente sferica ed uniformemente coperta dalle acque. Non è però così il fatto; anzi la superficie terrestre è del tutto irregolare, e il mare non la ricopre che in parte e in maniere irregolarissime. Di qui è che le maree presentano ne' varii luoghi molte diversità sì relativamente alle epoche come relativamente alle altezze. In un luogo l'alta marea avviene due ore dopo il passaggio della Luna dal meridiano, in un altro in vece ha luogo 3, 4, 6, ec. ore dopo un tale passaggio; in un luogo l'intervallo fra l'alta e la bassa marea è di soli tre piedi, in altro luogo esso è di 6, di 10 piedi, ed anche di 18 o di 20. Queste particolarità però spettano più propriamente alla Geografia Fisica, e si possono vedere

presso quegli autori che hanno scritto di proposito su questo fenomeno (*).

Rimane spiegato dalle cose sin qui dette come le maree debbano avere un periodo giornaliero corrispondente all' apparente giro diurno della Luna intorno alla Terra; passiamo a vedere la ragione del periodo mensile.

133. Non è sola la Luna, come si è già detto, a produrre il fenomeno, ma benchè più debolmente vi ha altresì parte il Sole, e secondo che l'azione di questo cospira coll' azione Lunare o le si oppone, noi abbiamo le maree ora più grandi ed ora più piccole.

Sono cospiranti le due azioni nel novilunio; nel qual tempo passando insieme amendue gli astri sopra il nostro meridiano tendono con forze congiunte a far elevare le acque; e similmente con forze unite tendono a farle abbassare dopo sei ore, onde farle invece innalzare in altri paesi lontani; con forze combinate le alzano nuovamente dodici ore dopo, quando cioè passano tutti e due dal meridiano inferiore, e dopo diciotto ore di nuovo le deprimono: il novilunio è perciò una di quelle epoche in cui le maree sono più grandi.

Sono in vece opposte le azioni dei due luminari nel primo quarto di Luna; perciocchè quando questa passa sopra di noi e tende a produrre l'alzamento, il Sole trovasi all' orizzonte e tende a produrre la depressione; e questa opposizione d'azioni continua ad aver luogo per tutte le posizioni che prendono apparentemente i due astri nel cielo durante la giornata: si hanno adunque allora delle maree più piccole. Tornano cospiranti esse azioni nel plenilunio; giacchè quando la Luna col passare sopra di noi tende a far

(*) Si può consultare fra le altre opere il vol. IV dell'Astronomia del Lalande.

elevare le acque, il Sole si trova direttamente sotto; e tende anch'esso a produrre sollevamento. Nell'ultimo quarto infine le azioni sono ancora opposte; stantechè al passare della Luna pel meridiano superiore, nel qual tempo ella tende a produrre l'alta marea, il Sole trovasi in sul nascere, e l'azion sua tende a produrre abbassamento.

È però d'uopo avvertire, che per una ragione la quale difficilmente troverebbe qui luogo, queste maree massime o minime non avvengono precisamente nelle dette epoche, ma bensì uno o due giorni dopo. Ne' tempi poi intermedii alle Lupazioni il Sole ora favorisce l'azione Lunare ed ora le è contrario, secondo le diverse posizioni che esso ha rispetto alla Luna; e insieme esso fa anticipare qualche poco le maree, ovvero posticipare: le fa anticipare quando nel suo apparente giro intorno alla Terra passa pel nostro meridiano alcun poco prima della Luna, sia che i due vicini passaggi avvengano entrambi sopra l'orizzonte ed entrambi sotto, sia che essi avvengano l'un sopra e l'altro sotto; le fa posticipare quando egli passa dal meridiano alcun poco dopo la Luna.

Per non diffonderci poi in particolarità troppo minute noi lasceremo di parlare di un terzo periodo che dicesi annuo, come pure dell'effetto della maggiore o minor vicinanza della Luna a noi, e di altri simili accidenti, intorno ai quali si possono consultare gli autori che hanno trattato l'argomento con tutta l'estensione.

CAPO V.

DELL'ATTRAZIONE MOLECOLARE, E DE' SUOI EFFETTI, E IN ISPECIE DELL'ADESIONE

134. La proprietà che hanno i corpi di attirarsi vicendevolmente, oltre gli effetti fra grandi masse e a

grandi distanze, manifestasi eziandio in una moltitudine di altri fenomeni operando a piccolissime distanze, anzi all'apparente contatto; i quali fenomeni formando una classe del tutto distinta, hanno i fisici pensato di attribuirli ad una sorta particolare di attrazione detta molecolare, senza però assolutamente decidere, se ella sia o una nuova forza diversa dall'attrazione universale, ovvero questa medesima che compaja sotto un diverso aspetto.

I fenomeni dipendenti dall'Attrazione molecolare, o dove almeno ella ha molta parte, sono l'Adesione, la Coesione, i diversi modi d'aggregazione dei corpi, l'Elasticità, i fenomeni de' Tubi capillari, e secondo alcuni le Affinità chimiche. Fra questi noi prenderemo primieramente ad esaminare l'Adesione, siccome quella in cui l'attrazione molecolare è meno modificata da altre cause, e che meglio ci può mettere in grado di dire qualche cosa sulla natura di questa forza.

Dell'Adesione.

135. Si prendano due palle di piombo, e levato da entrambe un segmento ed ivi spianate e ripulite, si facciano combaciare insieme e si premano fortemente l'una contro l'altra; si troverà che esse rimarranno attaccate insieme, e si richiederà alquanta forza per distaccarle. Questo fenomeno è quello che chiamasi *Adesione*, la quale perciò si può definire il *fenomeno del rimanere attaccati fra loro due corpi posti a combaciamento l'uno coll'altro*.

136. L'esempio arrecato riguarda i corpi solidi. Si osserva l'Adesione fra i solidi e i liquidi nelle sperienze seguenti:

Si ponga sul mercurio una lamina di cristallo o di altra sostanza solida; ci vorrà a distaccarla una forza superiore al suo peso.

Si prendano due lastre di cristallo più piane, che

si possano trovare, ed umettatele leggiermente coll'alito si premano l'una contro l'altra, e quindi si provi a staccarle; si sentirà una notabile resistenza, la quale proviene, e dall'adesione con cui la lamina acquea interposta tiene a sè aderenti entrambe le lastre, e insieme dalla coesione delle molecole acquee fra loro.

Egli è poi notissimo che immergendo nell'acqua, nell'olio, nell'alcool, ec., un corpo qualsivoglia, n'esce per lo più bagnato, cioè portando seco una porzione del liquido che gli si tiene attaccato per adesione. Su questo fenomeno però torneremo ancora quando parleremo de' fenomeni capillari.

137. L'adesione ha pur luogo fra liquidi e liquidi, e se ne ha un esempio facendo che una piccola stilla d'acqua stia attaccata al di sotto d'una goccia d'olio.

138. Questa adesione poi ha procurato all'uomo diversi vantaggi. La calce collegando le pietre e i mattoni serve alla fermezza delle fabbriche. Le diverse sorte di colla, le vernici, le saldature metalliche, la cera lacca, ec. ci somministrano continuamente altre prove di tali vantaggi (*).

139. In quanto alla sua cagione, essa non è altro che un effetto dell'attrazione molecolare, la quale fa sì che allorquando due corpi combaciano insieme, un gran numero di molecole dell'uno, attesa la piccolissima distanza, attraggano fortemente le molecole dell'altro e le tengano tenacemente unite. Può nascere sospetto che ella possa dipendere dalla pressione atmosferica, come avviene in fatti nel fenomeno degli emisferi di Magdeburg; ma le palle di piombo, le sostanze glutinose, ec. mostrano i loro fenomeni anche nel vacuo. E Newton a questo proposito osserva che

(*) Sulla forza di adesione di diverse sostanze glutinose ha istituite varie sperienze il celebre Musschenbroek, le quali si possono vedere nella Dissertazione intitolata *Introductio ad Cohaerentiam corporum firmorum*, ovvero nella sua Classica Opera *Introductio ad Philosophiam Naturalem*, al cap. XXI *De Cohaerentia et Firmitate.*

il mercurio nei tubi barometrici ben purgati d'aria, può rimanere sospeso per un'altezza di 40, di 50, ed anche più pollici inglesi; mentre per la pressione dell'aria nol potrebbe oltre ai 30 pollici (1).

Considerazioni sulla natura dell'attrazione molecolare.

140. Rimettendo più sotto l'esposizione di alcuni altri fenomeni che han relazione coll'adesione, ci fermeremo a dire alcune cose sull'essenza dell'attrazione molecolare, profittando dei lumi che intorno ad essa può l'adesione somministrarci.

Una prima particolarità dell'attrazione molecolare si è di non manifestarsi che alle minime distanze o all'apparente contatto, e di sparire del tutto per ogni piccolissimo allontanamento che a noi sia sensibile. Si asserisce in vero da alcuni che due goccie di mercurio accostate assai davvicino l'una all'altra, si slanciano per incorporarsi insieme anche prima di giungere al contatto; ma guardando attentamente non si veggono ad unire se non allorquando incominciano a toccarsi. Citano altri il fatto che frapponendo de' fili di seta a due lamine di vetro, queste mostrano ancora dell'adesione (2); ma o i vetri sono bagnati, e allora non è attrazione fra vetri leggiermente distanti, bensì fra la lamina acquea interposta e i due vetri che le sono a contatto; ovvero essi vetri sono asciutti, e allora l'adesione è sempre di breve durata e dipende da tutt'altra causa, come si dirà più sotto.

141. L'attrazione molecolare non dipende dalla grandezza delle masse attraenti, ma solamente, a parità delle altre circostanze, dall'estensione della superficie

(1) Newton, *Quaest. Opt.* 31.

(2) Musschenbroek, *Introductio ad Philosophiam Naturalem*, § 1010.

di contatto. Due pezzi di piombo che tengansi uniti per adesione, esigeranno per essere staccati uno stessissimo sforzo sieno grandi o piccoli, semprechè la superficie di combaciamento sia in ogni caso la medesima; ma lo sforzo sarà più o men grande secondo che saranno più o meno numerosi i punti del vicendevole contatto. E per giovarci anche della Coesione, possiamo osservare con Haüy che un piccolo pezzo di ferro o d'altro metallo ritiene a sè unite le proprie particelle colla medesima forza, sì allorquando forma parte d'una gran massa, che quando si trova da essa staccato (1). E questo nasce evidentemente da ciò, che quelle molecole de' due corpi le quali sono lontane dal contatto, non hanno veruna parte sensibile all'effetto.

142. Ma quale sarà la legge dell'attrazione molecolare? Come andrà cioè scemando la forza attrattiva produttrice di questi fenomeni, a proporzione che cresce la distanza fra le particelle che si attraggono? Intorno a ciò sonovi fra i Fisici principalmente due opinioni. Buffon, Laplace, ed altri, fra i quali il cavaliere Leopoldo Nobili (2), credono che ella segua la stessa legge dell'attrazione universale, anzi che ella non ne sia che una semplice modificazione; talchè le due attrazioni sieno in sostanza una medesima, la quale fra particella e particella operi rigorosamente nella ragione inversa dei quadrati delle distanze, sieno queste grandissime o piccolissime; e se la molecolare scema rapidissimamente e svanisce all'aumentarsi delle distanze, credono che ciò possa dipendere dalla forma e dalla disposizione delle particelle fra cui opera; credono cioè che queste circostanze favoriscano in modo

(1) Haüy, *Physique*, § 74.

(2) Veggasi la sua memoria *Sopra l'identità dell'attrazione molecolare coll'astronomica* inserita nel Giornale di Fisica di Pavia, volume del 1817, e riprodotta in Modena nel 1818.

fortissimo l'azione al contatto, non prestando fuori di esso verun sensibile soccorso. E tale opinione hanno essi abbracciato, perchè reputano aliena dall'economia della natura l'esistenza simultanea di due diverse specie di attrazione.

143. Newton, Clairaut, ed altri ammettono al contrario che l'attrazione molecolare sia essenzialmente diversa dall'universale, non credendo questa capace dei fenomeni che osservansi al contatto. Sembra cioè loro di poter dimostrare che se due grandi corpi, ove si mostri poderosa l'attrazione universale, vengano diminuiti di massa, e quindi recati vicinissimi e a contatto, non possa più questa attrazione, dopo scematasi insieme colle masse, aumentarsi di nuovo in grazia dell'avvicinamento, a segno da ritornar sensibile e palesarsi nei diversi effetti dell'attrazione molecolare; e che la forma e la disposizione delle particelle materiali sieno assai lontane dal potere a ciò prestare un sufficiente ajuto. Onde stimano doversi ricorrere ad una nuova forza attrattiva, che operi secondo una legge molto più rapida; che sia cioè tale che trovata una distanza ove sia uguale alla gravitazione, ella cresca col ravvicinamento assai più rapidamente della gravitazione stessa, talchè al contatto sia di gran lunga maggiore e quindi idonea a produrre la coesione e l'adesione e gli altri effetti congeneri; e similmente diminuisca con assai maggiore rapidità nell'allontanamento, in guisa che alle grandi distanze sia incomparabilmente più piccola dell'universale, e del tutto incapace a turbarne gli effetti nei moti celesti (*). Quale poi dovrebbe essere la precisa legge di questa nuova specie di attrazione non l'hanno ancora stabilito.

(*) Si possono vedere nel Giornale di Fisica di Pavia (anno 1814, p. 110 e 169) alcune considerazioni, per le quali a me sembra che questa seconda opinione sia da preferirsi.

Di alcuni altri fenomeni che hanno relazione coll'adesione.

144. Le goccie d'alcool cadenti da piccola altezza su di altro alcool, rimangono qualche tempo galleggianti senza incorporarsi colla massa sottoposta: ciò osservasi anche nell'acqua saponata, e talora anche nell'acqua comune. Verisimilmente lo spirito di vino il fa per un velo di vapore alcoolico che sta aderente intorno a ciascuna goccia, e copre altresì la superficie sottoposta, ponendo per qualche tempo impedimento al contatto. Nell'acqua saponata e nell'acqua comune n'è forse cagione un velo di aria atmosferica aderente sì alla goccia che al liquido sottoposto, e che s'annida ne' pori superficiali.

145. Ponendo l'una contro l'altra due lamine di vetro ben piane ed asciutte, e quindi ritenutane una ed abbandonata l'altra al proprio peso, esse stanno per qualche tempo attaccate insieme; però sempre alla fine si staccano, e per lo più in meno di un minuto. Venne da molti questo fenomeno attribuito all'attrazione molecolare; ma vi è la difficoltà che alleggerendo quanto si voglia la lamina sottoposta non si arriva mai ad ottenere ch'ella rimanga stabilmente unita; il che dovrebbe pur avvenire se il fenomeno dipendesse dall'attrazione molecolare; dovrebbe cioè la lamina inferiore rimanere stabilmente attaccata, quando il suo peso si fosse ridotto minore dell'attrazione colla lamina sovrapposta. Io credo perciò che il fenomeno non si debba riguardare come un'adesione, ma come un lento distaccamento, lento per la difficoltà che in sulle prime viene incontrata dall'aria nel suo penetrare frammezzo alle lamine.

146. Ponendo una goccia d'olio sopra una sottile lamina orizzontale di ferro, ed accostandovi al di sotto

la fiamma d'una candela o d'una lucerna a spirito di vino, in modo che non corrisponda precisamente sotto la goccia, ma rimanga da un lato, si vede questa mettersi in moto abbandonando la parte riscaldata della lamina. Questo fenomeno si può ottenere da lamine di qualsivoglia altra sostanza, ed anche da un semplice filo metallico da cui penda una goccia liquida; in quanto ai liquidi i migliori sono l'olio, il sego, e gli altri che bagnano i corpi su cui stanno e non si convertono facilmente in vapore. E possiamo notare che su di una lamina o su di un filo, i quali si tengano inclinati e si scaldino dalla parte inferiore, se l'inclinazione non è troppo grande il liquido corre verso l'alto.

Un tale fenomeno, sul quale chiamò primieramente l'attenzione dei Fisici il sig. Guglielmo Libri (*), sembra provenire da una diminuzione d'attrazione operata dal calorico fra la materia della goccia e la parte riscaldata della lamina, in forza di cui il liquido si muova verso la parte fredda ove l'attrazione è preponderante.

CAPO VI.

CENNI SUI PRINCIPALI EFFETTI FISICI DEL CALORICO, AD INTELLIGENZA DE' FENOMENI DELL'ATTRAZIONE MOLECOLARE.

147. Dalla sperienza ultimamente citata noi veggiamo che il calore si oppone possentemente all'attrazione molecolare. Questo contrasto si manifesta eziandio in tutti gli altri fenomeni da essa dipendenti e che noi verremo in seguito esponendo. Onde è che prima di passare a questi gioverà premettere alcuni cenni sui principali effetti fisici del Calorico. Nè con ciò usciremo dall'argomento dell'attrazione molecolare, giacchè ne'

(*) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXIX, p. 57.

fenomeni dei quali passiamo a parlare ha anch'essa la sua parte. Non faremo però che brevissimi cenni, riserbando pel Calorico un Trattato a parte nel secondo volume.

Il Calorico adunque, vale a dire la causa qualunque ella siasi della sensazione del calore, produce nei corpi fra gli altri effetti fisici questi due, di dilatarli cioè, e di farli cangiare di stato.

148. Vengono dal Calorico dilatate tutte e tre le specie di corpi, i solidi, i liquidi e gli aeriformi. Della dilatazione dei solidi ne abbiamo un esempio nel Pirometro di Musschenbroek; di quella dei liquidi nel termometro a mercurio e in quello a spirito di vino, i quali indicano appunto i diversi gradi di calore o come anche dicesi *di temperatura* per mezzo della maggiore o minore dilatazione di questi due liquidi. Della dilatazione in fine dei fluidi aeriformi n'abbiamo esempio nel Termoscopio di Rumford.

149. Vi ha però qualche rara eccezione, essendovi dei corpi che in alcune circostanze esposti al calore non si dilatano, ma anzi si restringono. Tale è l'acqua, la quale se appena ottenuta dalla liquefazione del ghiaccio viene gradatamente riscaldata, in sulle prime diminuisce di volume, e ciò fino ai $+3°\ 1/5$ R. ossia ai $+4°$ C. all'incirca; dopo si dilata come tutte le altre sostanze, fino a che divenuta bollente cessa d'esser liquida e passa allo stato aeriforme. Questo punto dei $3°\ 1/5$ R. fino a cui ella si restringe, chiamasi il punto della sua *massima densità*.

150. Relativamente ai cangiamenti di stato, se si espone al calore un corpo solido, questo passa allo stato liquido, o come suol dirsi si *fonde;* esponendo un liquido, esso si *volatilizza* ossia diviene aeriforme. Un esempio comunissimo di questi cangiamenti lo abbiamo nell'acqua: un pezzo di ghiaccio col semplice calore della mano si fonde, e l'acqua in tal modo ottenuta posta a fuoco in un opportuno recipiente bolle

e se ne fugge per l'aria in istato aeriforme. La fusione poi del ghiaccio (supposto che esso siasi formato con acqua purissima) succede costantemente ad un medesimo grado di calore, e questo si è stabilito per lo zero sì nella scala del termometro di Réaumur che in quella del termometro centigrado. Il grado necessario all'ebullizione varia secondo la diversa pressione atmosferica, esigendosi temperatura più elevata se la pressione è più forte; quella temperatura poi che fa bisogno all'acqua per bollire quando la suddetta pressione è di 28 pollici di mercurio, si è assunta pel grado 80° del termometro di Réaumur, e pel 100° di quello a scala centigrada.

Anche il mercurio presenta i due cangiamenti; sotto a —31°R. è solido; al di sopra di questo grado è liquido, e si mantien tale fino ai +280° R., alla quale temperatura bolle. Lo stesso succede di varie altre sostanze, le quali possono assumere tutti e tre gli stati, purchè si pongano a temperature convenienti; e se non fosse per difetto de' nostri mezzi, probabilmente avverrebbe lo stesso di tutte.

151. La sottrazione del Calorico produce in ciascun corpo degli effetti esattamente inversi. I corpi di qualunque stato col raffreddarsi si restringono di volume; salve *delle rarissime* eccezioni, p. e. riguardo all'acqua la quale dai +3° 1/5 R. fino a 0° si dilata. E se sono aeriformi per mezzo d'un sufficiente raffreddamento divengono liquidi, e se sono liquidi si solidificano, parendo dipendere da sola mancanza di mezzi, se alcune sostanze a ciò si rifiutano.

152. Procuriamo ora di dare qualche ragione di questi effetti del Calorico, e incominciamo dai corpi solidi. Secondo l'ipotesi degli atomisti questi corpi sono formati (come si è già accennato al § 37 parlando della Porosità) di tante distinte molecole insieme collegate dall'attrazione molecolare, ma nulladimeno separate di minimi intervalli per l'azione del

calorico. Ed ecco in qual modo credesi ciò avvenire. Esistendo sempre nei corpi, anche nei più freddi, una quantità più o men grande di calorico, si ammette che esso si trovi interposto frammezzo alle loro molecole, e che queste ne sieno circondate tutto all'intorno, e che sebbene esse si attraggano fortemente per l'attrazione molecolare, vengano nulladimeno da lui tenute lontane dall'assoluto contatto e separate de' già detti intervalli; nella stessa guisa come se intorno a ciascuna molecola si ergessero tante punte elastiche, le quali vietassero il vicendevole contatto, ma soltanto, piegandosi, concedessero un qualche avvicinamento mediante le forti pressioni.

Tende l'attrazione molecolare a ravvicinare queste molecole, e le tiene in fatti assai vicine e riunite in ammassi fortemente coerenti, ma non può ridurle se non che a quella vicinanza che è permessa dal calorico onde sono cinte. Se con una esteriore pressione le avviciniamo di più, l'azione separatrice del calorico divenuta più possente per questo avvicinamento, fassi preponderante all'attrazione, e se esse allora vengono lasciate a sè, ella le allontana di nuovo fino alle distanze primitive; perocchè nell'ipotesi che dichiariamo si ritiene che tale azione separatrice cresca più rapidamente coll'avvicinamento, e più prontamente scemi coll'allontanamento di quel che faccia l'attrazione molecolare. Che se in vece si distende il corpo, distraendone due estremità verso bande contrarie, le molecole con ciò allontanate vengono a sentire più indebolita l'azione del calorico che non quella dell'attrazione molecolare, onde quest'ultima prevalendo, nel cessare della distrazione le riunisce ancora. Quando poi esse non sono soggette a veruna azione esteriore che prema o distragga il corpo, si tengono sempre a quelle distanze ove le due forze sono in equilibrio.

153. Ma questo punto d'equilibrio varia secondo le temperature. Poichè se viene ad aumentarsi la quan-

tità del calorico entro ai corpi, e quindi anche intorno alle singole molecole, allora in queste, supposte ancora a quelle distanze a cui erano precedentemente, non si fanno più equilibrio le due forze, ma prevale l'azione del calorico, ed esse si allontanano fino a che questa azione scemando venga a trovarsi in equilibrio coll'attrazione; e così il corpo si dilata.

Diminuisce in vece il calore? In questo caso, finchè le molecole rimangono alle distanze primitive, le due contrarie forze non s'equilibrano più, e quella del calorico è la più debole; laonde l'attrazione come prevalente va ravvicinando le molecole stesse fino a quel punto che l'azione del calorico, crescente coll'avvicinamento, torni ad essere uguale alla sua contraria. Così i corpi perdendo calorico si restringono.

154. Tutto quello che si è detto de' solidi vale altresì pei liquidi. Anche le molecole di questi sono soggette all'azione delle stesse due forze, e secondo che quella del calorico cresce o scema, si allontanano o si avvicinano. Ma nella costituzione degli uni e degli altri vi ha una differenza. Ne' solidi, attesa la particolare disposizione delle molecole, e la loro forte attrazione, sono queste sì fattamente unite le une colle altre, che per piccole forze non possono cangiare la posizione rispettiva. All'incontro nei liquidi, sono esse per l'azione del calorico così slegate, che hanno facoltà di scorrere le une sulle altre agevolissimamente. Sembra però da molti fenomeni ch'esse abbiano ancora qualche vicendevole attrazione: ma su ciò torneremo in altro luogo (§ 223 e seg.), come pure ci riserveremo ad altro tempo di parlare intorno al passaggio de' corpi dallo stato solido al liquido.

155. Non parleremo qui neppure del modo con cui i liquidi passano allo stato aeriforme. Diremo solo che quando i corpi sono giunti a questo stato hanno le loro molecole ad una molto maggiore distanza che allorquando erano liquidi o solidi; e che queste mo-

lecole hanno allora perduta ogni vicendevole attrazione, e sono in piena balía del calorico, il quale imprime loro una tendenza a repellersi vicendevolmente; ed esse si recherebbero effettivamente ad una distanza assai maggiore di quella a cui stanno, se non fossero trattenute da qualche forza esteriore; dal che ha origine l'espansibilità, come si è già veduto più sopra (§ 60).

Questa vicendevole ripulsione poi al crescere delle distanze diminuisce; e di qui è che i fluidi aeriformi tanto più perdono di forza espansiva quanto più si dilatano, o quanto più dentro ad un dato volume si rarefanno; sì nell'uno in fatti che nell' altro caso cresce la distanza fra le particelle. All'incontro se queste si ravvicinano, la loro forza repulsiva cresce; e però quando i fluidi aeriformi si restringono di volume o quando se ne aumenta la massa entro un volume dato, acquistano una più grande forza espansiva. Ma su ciò torneremo di nuovo nel secondo volume.

Se ora un fluido aeriforme viene a riscaldarsi, l' azione ripulsiva delle sue molecole s' accresce, e s'accresce pure la forza espansiva della massa totale; e però quando non divenga maggiore la forza esterna che il ritiene, esso si dilata, e segue a gonfiarsi fino a che non sia nuovamente a tal segno indebolita questa forza espansiva da poter essere equilibrata dalla forza comprimente esteriore. È poi facile a dimostrarsi che dee avvenir tutto il contrario in caso di raffreddamento.

156. Nelle sperienze che fannosi col Termoscopio di Rumford, dopo che s' è riscaldata una bolla, la forza espansiva dell' aria contenutavi non è più in equilibrio con quella dell' altra bolla, e la goccia liquida trovandosi premuta da forze disegnali si allontana dalla suddetta bolla più calda. In quest' ultima però, in grazia della dilatazione, una tale forza espansiva diminuisce, mentre dall' altra bolla pel condensamento questa forza cresce; donde succede che dopo qualche movi-

mento della goccia le due forze divengono uguali, ed ella si ferma. Continuerebbe a muoversi nella medesima direzione, quando venisse riscaldata maggiormente la bolla già calda, siccome all'incontro retrocederebbe quando la stessa bolla si raffreddasse; il che non ci fermeremo a dimostrare, essendo facilissimo a vedersi.

157. Termineremo il capitolo co' seguenti due corollarii dipendenti dalle cose dette precedentemente:

1.° Secondo il sistema atomistico non possono mai due corpi venire ad assoluto contatto. Perciocchè quand'anche si riunissero sì bene da non formare che un corpo unico, vi sarebbe sempre fra le particelle dell'uno e quelle dell'altro la distanza voluta dall'azione del calorico. Rigorosamente parlando adunque, allorchè si dice che due corpi si trovano a mutuo *contatto*, si dee sempre intendere, per chi ammetta il suddetto sistema, che un tale contatto è semplicemente apparente.

2.° Secondo il medesimo sistema, tutti i corpi sono necessariamente porosi, come si disse già al § 37.

CAPO VII.

DELLA COESIONE

158. Veduto brevemente da qual causa e in quale maniera venga l'attrazione molecolare contrariata, proseguiremo ad esaminarne gli effetti, e primieramente prenderemo a considerare la Coesione.

È la Coesione quella proprietà per cui le diverse parti di un medesimo corpo si tengono unite le une colle altre. Ella si manifesta principalmente nei corpi solidi, p. e. ne' legni, ne' metalli, nelle pietre; varia però moltissimo dall'uno all'altro, e suole diminuire pel calore e crescere pel freddo. In qualche debole grado ella si mostra anche nei liquidi, come si scorge nelle

gocce sospese. Ma non ha luogo ne' fluidi aeriformi. Si fa dipendere dall'attrazione molecolare, la quale tiene insieme legate le particelle elementari di cui i corpi sono composti.

La Coesione de' corpi solidi può essere cimentata in molte maniere, le quali però si possono ridurre a quattro, che sono la *distensione*, l'*intaccamento*, la *percussione* o la *compressione*, e il *piegamento*. Quindi è che si possono distinguere quattro modi di Coesione, i quali sono appunto le resistenze che essi corpi presentano nel venir cimentati in queste diverse guise.

Della Resistenza alla distensione.

159. La resistenza alla distensione, che si suol chiamare *tenacità*, è quella che i corpi solidi oppongono alla separazione delle loro parti allorchè vengono distratti da contrarie bande.

Godono di questa in alto grado diversi metalli, le funi di canape e di seta, le corde degli intestini, i legni tirati longitudinalmente; e se ne traggono molti vantaggi nella vita sociale, come si scorge nelle funi utili per tirare, per sostenere, per legare, in quelle barre di ferro dette *catene* o *chiavi* con cui si collegano le parti dei fabbricati, ne' cerchii delle ruote e delle botti, ec. Fu istituito su questa un gran numero di sperienze da Musschenbroek, il quale per molti corpi la cimentò col seguente artificio. Provveduti diversi sottili prismi e cilindri metallici, diversi prismi e cilindri di legno, delle corde fatte con diverse materie, ec., egli ne legava una estremità al braccio più corto di una stadera, fermando saldamente l'altra a un punto situato inferiormente. Andava quindi scostando a poco a poco il marco nel braccio più lungo in sino a che il pezzo si schiantava, e notato il segno dove ciò seguiva, prendeva il numero corrispondente

per misura della tenacità (1). Altre sperienze vennero fatte da Duhamel e da altri autori sulla tenacità delle funi, e su quella di altre specie di corpi. Noi esporremo nella seguente Tavola i principali risultamenti da essi ottenuti, ridotte le misure e i pesi al sistema metrico, siccome il più universalmente conosciuto. I nomi degli autori, e delle opere donde sonosi tratti cotali risultamenti, si troveranno citati sul fine della Tavola (2).

(1) *Introductio ad Cohaerentiam corporum firmorum*, cap. II, III, e IV; *Introductio ad Philosophiam Naturalem*, cap. XXI, *De Cohaerentia et Firmitate.*

(2) Nella riduzione de' risultamenti di Musschenbroek abbiamo ammesso che il pollice del Reno da esso adoperato equivalga a metri 0,02615, e che la libbra di Amsterdam equivalga a chilogrammi 0,4918 (*Enciclopédie Méthodique, Physique*, article *Livre*).

TAVOLA

DELLE TENACITÀ DI VARIE SOSTANZE

SOSTANZE MINERALI

Metalli tenaci e loro leghe.

Platino, secondo Guyton Morveau, ad ogni centimetro quadrato di sezione può sostenere chilogrammi	3945		(1)
Oro purissimo fuso.	1439		(2)
lo stesso battuto col martello . . .	da 2227	a 2440	(3)
Argento di coppella fuso	2876		(2)
Rame di Svezia e di Barberia fuso . »	1587	» 2620	(4)
lo stesso battuto . . . . . »	2650	» 2876	(4)
rame di Svezia passato dalla trafila e quindi ricotto . . . . . »	2460	» 2710	(5)
Ferro di Germania fuso	4800		(2)
ferro di diverse specie battuto . . . »	4314	» 6543	(6)
ferro ridotto in fili e quindi fatto ricuocere . . . . . »	4020	» 4390	(5)
Oro unito a un decimo del proprio peso di rame di Svezia, fuso.	2440		(3)
la stessa lega battuta.	3807		(3)
Oro unito a $^1/_7$ di rame, fuso	3954		(7)
(È questa la proporzione di questi due metalli che diede la maggiore tenacità).			
Lega appellata da Musschenbroek *Aurum pistolettarum*, fusa	3307		(7)
la stessa passata dalla trafila e quindi fatta ricuocere . . . . . »	4530	» 4800	(5)
Argento con pochissima lega (probabilmente di rame), fuso	2984		(3)
lo stesso passato dalla trafila e quindi ricotto	4680		(3)
lo stesso battuto	5536		(3)

Argento della lega del filippo, ridotto in fili e ricotto	da 3100	a 3350	(5)
lo stesso ben battuto		5824	(3)
Argento unito a 1/5 del suo peso di rame, fuso		3486	(8)
(È questa la proporzione dell'argento col rame che diede la maggiore tenacità).			
Argento unito a 1/4 del suo peso di stagno di Malacca (proporzione della maggior tenacità), fuso		3394	(9)
Bronzo fuso, formato di 1 rame di Barberia con 1/3 o 1/8 di stagno ingl.	» 2736	» 2961	(10)
altro formato di 1 di rame giapponese con 1/3 di stagno Bancas, fuso.		4135	(11)
(Queste due proporzioni sono quelle della maggiore tenacità).			
Ottone (che è una lega di rame e zinco nella prop. di circa 7 a 3), soltanto fuso . . .		1366	(12)
lo stesso passato una volta dalla trafila, e quindi ridotto colla lima a prisma quadrangolare		1186	(12)
lo stesso passato due volte, e quindi limato come sopra		2420	(12)
lo stesso passato tre, quattro, cinque, e sei volte, e quindi limato come sopra, sempre senza esser fatto ricuocere	» 2910	» 4134	(12)
lo stesso fatto arroventare dopo queste sei volte, e quindi fatto passare di nuovo	» 3414	» 4134	(12)
altro ottone stato laminato		3665	(12)
Acciajo dolce di diverse specie . . .	» 7765	» 8916	(13)
lo stesso di ottima qualità, temperato in diversi gradi	» 8053	» 10785	(13)

Metalli poco tenaci e loro leghe.

Stagno di Malacca, il solo che ci arrivi purissimo (14), fuso.		226	(2)

Altre specie di stagno, cioè d'Inghilterra bianco e nero, di Bancas, ec. fuso	da	259	a 468	(2)
Stagno passato dalla trafila	»	428	» 468	(5)
Piombo di Scozia, fuso			62	(15)
lo stesso passato una volta dalla trafila			181	(15)
lo stesso passato 2, 3 ... 10 volte	»	199	» 244	(15)
Bismuto fuso	»	211	» 229	(2)
Zinco fuso	»	189	» 206	(2)
Antimonio fuso			74	(2)
Lega di 1 di stagno di Malacca con 1/2, 1/4, 1/5 di piombo, fusa	»	572	» 597	(16)
(Queste proporzioni sono quelle che danno la maggiore tenacità; e lo stesso è delle proporzioni delle leghe seguenti.)				
lega di 1 di stagno bianco inglese con 1/3 di piombo, fusa			771	(17)
Lega di 1 di stagno di Malacca con 1/3, o 1/4 di bismuto, fusa	»	1025	» 1050	(18)
lega di 1 di stagno Bancas con 1/4, 1/5, 1/6, e 1/7 di bismuto, fusa	»	1080	» 1175	(19)
Lega di 1 di stagno di Malacca con 1, 1/2, 1/3 ... 1/10 di zinco	»	722	» 896	(20)
lega di stagno Bancas collo zinco nelle proporz. di 2 a 1, di 1 a 1, e di 1 a 2, fusa	»	1056	» 1125	(21)
Lega di 1 di stagno di Malacca con 1/2, 1/3, 1/4 di antimonio, fusa	»	801	» 920	(22)
Lega di 1 di piombo con 1/8 di antimonio, fusa			647	(23)

Altre sostanze d'origine minerale.

Vetro, secondo sperienze di Navier	»	168	» 326	(24)
Mattoni, secondo sperienze citate dal Venturoli			18,7	(25)
Cementi, secondo Coulomb			3,34	(25)
gli stessi, secondo Delanges			0,67	(25)

CORPI D'ORIGINE VEGETALE

Legno di faggio d'ottima qualità con sezione trasversale quadrata, sostiene nella direzione delle fibre per ogni centim. quad. di sezione	chil.	1330	(26)
lo stesso con sezione trasver. circolare		1557	(26)
Legno di quercia, con sezione quad.		1130 circ.	1440 (26)
Legno di frassino oltre a	»	1435	» 1420 (26)
Legno d'olmo	»	937	» 1150 (26)
Legno d'abete	»	590	» 814 (26)
Funi di canape, attorte coll'accorciamento di 1/8, secondo Duhamel		520	(27)
Fili di lino riuniti, per ogni centimetro quadro di sezione		1350	(28)

CORPI D'ORIGINE ANIMALE

Crini di cavallo strappati dalla coda; uno solo regge grammi 495, e 1700 per formare un fascetto di un centimetro quadrato di sezione, reggono	chil.	840	(29)
Capelli umani, uno regge per medio risultamento grammi 85 1/2, e 13000 per formare un fascetto di un centim. quad.		1110	(30)
Fili grossi di ragno, uno gr. 8 3/4, e 208000 per formare come sopra		1820	(31)
Fili di seta, uno gr. 5 1/4, e 750000 per formare come sopra		3900	(31)
Corde di intestini, del diametro di millim. 1, 3, al centim. quad.		1357	(31)
le stesse del diametro di millim. 0, 8		2750	(31)
Cuojo di vitello		180	(31)
Cuojo di bue		380	(31)
Avorio		1177	(32)
Corno di bue		629	(32)
Osso di balena		540	(32)

Citazioni.

(1) Thénard, *Chimie.* 1821, t. I, p. 263.

(2) Musschenbroek, *Intr. ad Phil. Nat.* § 1130.

(3) *Ib.* § 1131.

(4) *Ib.* § 1145.

(5) Lo stesso, *Introduct. ad Cohaer. corp. firm.* cap. III.

(6) *Intr. ad Phil. Nat.* § 1143.

(7) *Ib.* § 1133.

(8) *Ib.* § 1135.

(9) *Ib.* § 1141.

(10) *Ib.* § 1146.

(11) *Ib.* § 1147.

(12) *Ib.* § 1160.

(13) *Ib.* § 1144.

(14) Thénard, *Chimie.* 1821, t. I, p. 295.

(15) *Int. ad Phil. Nat.* § 1186.

(16) *Ib.* § 1164.

(17) *Ib.* § 1161.

(18) *Ib.* § 1174.

(19) *Ib.* § 1171.

(20) *Ib.* § 1178.

(21) *Ib.* § 1172.

(22) *Ib.* § 1180.

(23) *Ib.* § 1190.

(24) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXXIII, p. 240.

(25) Venturoli, *Meccanica.* Milano, 1817, t. I, p. 238.

(26) *Intr. ad Cohaer. corp. firm.* cap. II.

(27) Venturoli, *Meccanica*, t. I, p. 239.

(28) *Intr. ad Cohaer.* cap. IV. Per questi fili, come altresì pe' crini di cavallo, pe' capelli umani, pe' fili di ragno, e per que' di seta, l'autore fece uso de' *grani medicinali.* Io ho supposto che essi fossero quelli della libbra medicinale di Norimberga, conosciutissima per tutta la Germania, la quale contenendone 5760 equivale a chilogrammi 0,3580 (Biot, *Traité de Physique*; I, 530). Nel caso che i grani suddetti fossero quelli della libbra di Amsterdam, che si divide in grani 7680, i numeri da noi registrati per esprimere le tenacità di queste cinque specie di corpi si dovrebbero aumentare di $^1/_{33}$ del loro valore.

(29) *Ibid.* Per mezzo dell' osservazione trovò Musschenbroek che il diametro del crine cimentato era poco minore di $^1/_{100}$ di pollice del Reno; la sua sezione era quindi circa $^1/_{1860}$ di un centimetro quadrato; io ammetto però che a fare un fascetto di questa grossezza ne bastino 1700, attesi i vacui che rimangono fra essi crini nell'unirli insieme.

(30) *Ibid.* Trovò il medesimo che sette capelli fanno un fascetto grosso come il precedente crine di cavallo; quindi a far la grossezza di un centim. quad. ne bisognerebbero 1860×7, ossia 13020.

(31) *Ibid.*

(32) *Int. ad Phil. Nat.* § 1203.

160. *Osservazioni riguardo alle sostanze minerali.*

1.ª Appare dalla tavola precedente che i metalli stati sperimentati si possono distinguere in due classi di tenacità molto diversa: l'una de' più tenaci la quale comprende il platino, l'oro, l'argento, il rame, e il ferro; e l'altra dei men tenaci a cui appartengono lo stagno, il piombo, il bismuto, lo zinco, e l'antimonio.

2.ª I metalli puri sono in generale men tenaci di quelli composti, osservandosi spesse volte che una lega metallica è più tenace di ciascun separato componente; sembra, come dice Musschenbroek, che le molecole del più scarso de' due metalli sparse frammezzo a quelle dell'altro leghino insieme quest'ultime a modo di *glutine*. Non è però così di tutte le leghe, essendovene di quelle molto fragili e quindi poco tenaci.

La sostanza più tenace di tutte, secondo le sperienze di Musschenbroek, è l'acciajo temperato in un grado medio: nel che si scorge come una piccolissima quantità di carbonio abbia la facoltà di aumentare in un grado notabilissimo la tenacità del più tenace metallo semplice qual è il ferro.

3.ª In uno stesso metallo la tenacità varia secondo che esso è stato semplicemente fuso senza essere stato lavorato, o ch'esso ha sofferto l'azione del martello, del *laminatojo*, o della trafila. In generale i metalli stati semplicemente fusi, benchè si scelgano senza il minimo difetto, sono men tenaci che battuti o laminati o ridotti a fili, co' quali processi essi divengono e più densi (§ 48) e più tenaci; però continuandosi tali processi oltre ad un certo segno, si vengono a formare delle screpolature, e la tenacità torna a indebolirsi; il che rende necessario, quando occorra lavorarli assai, di farli ricuocere. Battuti col martello si trovano generalmente un po' più tenaci che passati dalla trafila, forse perchè debbono farsi passare parecchie volte prima di acquistare quello stesso ravvicinamento di molecole che viene più presto operato dal martello. Il

piombo poi ha di singolare che col martello e colla trafila diviene bensì più tenace, ma non più denso, anzi si rarefà alcun poco (1).

4.ª Più pezzi d' uno stesso metallo anche trattati ad uno stesso modo mostrano sempre qualche differenza nella tenacità; il che dipende in parte da imperfetta omogeneità del tessuto, in parte da irregolari interrompimenti di continuità, e in parte da altre cagioni non sempre ben determinabili.

161. *Osservazioni sui corpi d' origine vegetale.* — 1.ª Nei legni a parità di sezione trasversale si mostrarono più resistenti i pezzi cilindrici che quelli di sezione quadrata, probabilmente perchè alla superficie di questi ultimi veniva troncato un maggior numero di fibre longitudinali che nei primi.

2.ª In una medesima specie di legno la tenacità varia secondo che le fibre poste a cimento sono più o meno lontane dal midollo del tronco dell' albero. Verso il midollo la tenacità suol essere molto piccola (2); quindi scostandosi dal centro le fibre si fanno gradatamente più tenaci fino ad un certo punto, passato il quale tornano ancora a mostrarsi più deboli.

Sonovi moltissime altre circostanze che possono far variare la tenacità dei legni; tali sono la natura del suolo, la più o meno felice esposizione all' azione del sole e a quella de' venti, i difetti accidentali, ec. Intorno a che noi non ci tratterremo.

3.ª Relativamente alle funi, sì da Musschenbroeck che da altri autori prima e dopo di lui, è stato trovato ch'esse si mostrano tanto più resistenti quanto

(1) In alcune sperienze instituite dal Musschenbroek, il piombo dopo avere sofferta la sola fusione pesava specificamente 11,4794; dopo passato otto volte dalla trafila pesava 11,3176; e il filo ottenutone battuto lungo tempo in giro pesava 11,2187. Fatto fondere di nuovo la densità tornò a crescere. *Intr. ad Phil. Nat.* § 1186.

(2) *Intr. ad Phil. Nat.* § 1127.

meno sono state attorte; e Duhamel asserisce che se in luogo di torcerle coll'accorciamento di un terzo della loro lunghezza, come suol farsi, si torcano soltanto coll' accorciamento di un quarto, la loro forza s'aumenta nella ragione di 2 a 3 (1). Conviene adunque torcerle appena quanto basta per tenerne insieme connesse le fila. Altre cose possono vedersi nell' opera di Duhamel *l'Art de la Corderie*, e in compendio presso Musschenbroek (2).

162. *Osservazioni sui corpi d'origine animale.* — È degno di essere notato che in que' corpi che la natura ci presenta nel regno animale in forma di fili, la tenacità è tanto più grande, a proporzione della sezione, quanto più essi sono sottili, quasi che i più sottili sieno lavorati con maggiore diligenza. Ciò si riconosce paragonando le tenacità de' crini di cavallo, de' capelli umani, de' fili di ragno, e de' fili di seta. Una cosa somigliante ha luogo anche nelle corde di intestini di diversa grossezza, sebbene l' essere filiformi sia per essi in parte opera dell' arte (3).

Della Resistenza all' intaccamento.

163. La resistenza all'intaccamento, appellata *durezza*, è quella onde un corpo resiste alla lima, alla mola, e in generale non si lascia intaccare dalle scabrezze ed angolosità degli altri corpi. La sostanza più dura che si conosca è il diamante, il quale non si lascia intaccare da nessuno degli altri corpi, e non può essere lavorato che colla sua propria polvere. In seguito vengono le altre pietre preziose, il rubino, lo smeraldo, lo zaffiro ec., alle quali conviene aggiungere lo smeriglio; poi le diverse *pietre dure*, fra

(1) Venturoli, *Meccanica*, t. I, p. 230.
(2) *Intr. ad Phil. Nat.* § 1115 al 1126.
(3) *Ibid.* § 1202.

le quali il quarzo e le sue varietà, cioè l'agata, la cornuola, la pietra focaja, il diaspro, ec.; un discreto grado di durezza si ha pure nel vetro, il quale ha perciò la qualità di conservare per lungo tempo liscia e lucente la superficie.

Le sostanze meno soggette ad essere intaccate sono le più atte ad intaccare le altre. Così il diamante intacca tutte le altre sostanze, e nelle arti serve a tagliare il vetro.

164. Uno de' vantaggi di questa proprietà è quello di mantenere il pulimento ai corpi che la posseggono. Un altro si è di rendere alcuni corpi atti a polire e lavorare gli altri. Così l'affilarsi de' coltelli e de' diversi stromenti da taglio, il molarsi dei cristalli, delle lenti ottiche, delle pietre dure, il pulirsi dei metalli, ec., dipendono dalla facoltà che hanno le lime, le coti, lo smeriglio, il tripoli, la spoltiglia, le sabbie silicee, ec., di intaccare quei corpi e di levarne delle particelle ora più grosse ed ora più sottili secondo il bisogno.

165. Si è trovato che l'acciajo può colla tempera crescere notabilmente di durezza, il che è una qualità utilissima, potendosi esso lavorare tenero, e quindi adoperare provveduto di molta durezza. Consiste questa tempera nel porlo rovente nell'acqua o in altro liquido freddo, facendolo poscia riscaldare nuovamente più o meno, se la tempera non si vuol troppo dura; giacchè una tempera molto dura è accompagnata da fragilità. Con un nuovo arroventamento seguito da lento raffreddamento l'effetto della tempera svanisce.

166. Per ovviare alla fragilità che gli stromenti da taglio acquistano quando per mezzo della tempera si vogliono rendere più taglienti, si è immaginato di fabbricarli con lamine alternate di acciajo e di ferro dolce sottilissime e saldate insieme; col quale processo si può avere un ottimo taglio dovuto all'acciajo, nel medesimo tempo che l'unione del ferro dolce toglie

il difetto della fragilità. Tale è il modo con cui si fabbricano le sciabole dette *damascbine* (*).

167. Opposta alla durezza si è la *tenerezza*, chiamandosi *teneri* quei corpi che cedono alla lima, che vengono facilmente segnati dalle pietre dure, e che non possono segnare gli altri corpi. Sono di tal natura il marmo calcareo o carbonato di calce, e il gesso o solfato di calce. I corpi teneri hanno la prerogativa di poter essere lavorati con facilità; così dal carbonato di calce abbiamo le statue di marmo e i vasi d' una specie d' alabastro, e dal solfato di calce abbiamo l'alabastro comune di cui pure soglionsi fare vasi, statue, ec.; ma questi lavori conviene tenerli con molta cura, venendo facilmente danneggiati dal l'urto degli altri corpi. Da tale *tenerezza* procede pure il logoramento degli utensili che si maneggiano di sovente.

Della Resistenza alla percussione e alla compressione.

168. Questa terza specie di resistenza si potrebbe denominare *consistenza*. Si suole essa pure comunemente chiamar *durezza*, ma ha molta diversità dalla proprietà che si è appellata poco sopra con questo nome: p. e. il diamante resiste più del ferro all'intaccamento, ma meno alla percussione; lo stesso è del vetro paragonato col legno. I corpi che non resistono alla percussione o alla compressione hanno diversi nomi secondo i varii modi con cui si comportano.

169. Diconsi *fragili* quei corpi che si rompono in pezzi di qualche grossezza. Fragile è il vetro, l'acciajo fortemente temperato, i vasi di terra, ec.

Si possono riferire alla fragilità i singolari fenomeni

(*) Vedi la memoria stampata su questo soggetto dal professore Crivelli. Milano, 1821, presso l'I. R. Stamperia.

che ci presentano le bottiglie di Bologna e le lagrime bataviche. Le prime non si rompono col lasciarvi cadere un pezzo di legno o di metallo anche di qualche peso, e vanno in pezzi al lasciarvi cadere un minuzzolo di selce che ne intacchi leggerissimamente l'interna superficie. Le seconde, cioè le lagrime bataviche, percosse nel ventre non si spezzano, ma subito scoppiano in minuti frantumi rompendosene la coda.

Riguardo alle prime la ragione si è che essendo esse state esposte all'aria fredda appena soffiate, la loro esterna superficie si è solidificata più presto della massa interna, e si è conformata sopra il volume di questa ancora calda e dilatata: quando poi anche questa materia interna è venuta a raffreddarsi, non ha potuto restringersi secondo che avrebbe avuto tendenza, perchè unita alla crosta già consolidata, ed è rimasta in uno stato di forzata distensione: così se internamente vi si fa una leggierissima e superficialissima fenditura, questa si ingrandisce rapidamente e la bottiglia si rompe. Le lagrime bataviche sono gocce di vetro, lasciate cader fuse nell'acqua o in altro liquido freddo; e il fenomeno loro nasce similmente da una distensione forzata delle parti interne. Di qui apparisce quanto sia utile la pratica di far ricuocere gli oggetti di vetro dopo lavorati, e di lasciarli quindi raffreddar lentamente.

170. *Friabili* diconsi quei corpi che colla percussione o colla compressione si riducono facilmente in minuta polvere. Tali sono alcune terre leggiermente agglutinate.

171. *Molli* quelli che cedono infossandosi, come la cera, l'argilla bagnata, il vetro rovente. La mollezza di molti corpi ci è di molta utilità. Coll'argilla impastata d'acqua si fanno mattoni, tegole, e vasi per usi domestici di diverso pregio secondo la finezza e il colore della terra impiegata: col fuoco poi e colle

vernici si rendono consistenti ed atti a resistere alla ingiurie esteriori. Col vetro si fanno moltissime sorte di vasi e d'altri oggetti. La cera fra gli altri usi ha quello di poter ricevere qualsivoglia forma e di servire a far ogni sorta di statue e di figure.

172. *Malleabili* si dicon quelli che colla percussione si possono stendere in lamine sottili. Tali sono: l'oro di cui si fanno sottilissime foglie da ricoprir vasi e mobili per ornamento; l'argento che serve a un uso somigliante, e alla fabbricazione di diverse sorte di vasi; il rame con cui si fanno altri vasi meno pregevoli, ma essi pure assai utili, dovendó però negli usi di cucina essere difesi colla stagnatura; il ferro che reso più malleabile per mezzo del calore si può lavorare in mille fogge; facendone una varietà immensa di strumenti utili all'agricoltura, alla vita domestica, e a tutte le arti.

In luogo del martello si suol anche far uso, per ridurre i metalli in lamine, d'uno strumento detto il *laminatojo*. Questo consiste principalmente in due cilindri d'acciajo, frammezzo ai quali si fa passare il metallo diverse volte, appressandoli gradatamente, e facendo spesso ricuocere il metallo medesimo perchè non iscrepoli.

Fra i metalli ve ne sono alcuni che sono malleabili tanto a freddo che a caldo: tali sono il platino, l'oro, l'argento, il rame, lo stagno, e il piombo. Altri vogliono essere scaldati, p. e. il ferro, e lo zinco, il primo de' quali diviene assai più malleabile quando si faccia arroventare, e il secondo non acquista malleabilità che coll'essere portato per lo meno alla temperatura dell'acqua bollente. Sonovi in vece alcune leghe, p. e. l'ottone, le quali sono malleabili soltanto a freddo, essendo fragili mentre sono calde. In fine vi sono de' metalli che sono fragili a tutte le temperature: tali sono l'antimonio, l'arsenico, e il cobalto. Il ferro fuso o *ghisa*, che è ferro non ancora

interamente depurato non è malleabile; in vece esso è più fusibile e più duro del ferro purgato.

173. *Duttili* si dovrebbero chiamare secondo Thénard(1) que' corpi che si possono ridurre in sottili fili; benchè nell'uso comune il vocabolo ha un più esteso significato, comprendendo anche la malleabilità. Osserva egli che fra le due qualità vi ha qualche differenza; il rame, p. e., è assai più malleabile del ferro, laddove questo si può meglio ridurre in fili. Di questa ultima proprietà poi sono principalmente dotati, oltre al ferro e al rame, la lega di rame e zinco cioè l'ottone, l'oro, l'argento, e tutti gli altri metalli malleabili. È molto uso si fa dei fili metallici, p. e. negli strumenti di musica, nelle reti metalliche, ec. A ridurre i metalli in fili serve lo strumento detto *filiera* o *trafila*, che è una lastra d'acciajo forata di molti buchi d'inegual diametro, dai quali si fa passare il metallo cominciando dai più larghi e venendo gradatamente ai più sottili, coll'avvertenza già notata di farlo sovente ricuocere. Secondo recenti sperienze riesce più vantaggioso il far uso di fori praticati in pietre dure, p. e. nel rubino, nello zaffiro, ec. I fili ne escono più lisci, e i buchi conservano il medesimo diametro per molto maggior tempo(2).

Della Resistenza all'incurvamento.

174. Vi sono de' corpi che non si lasciano sensibilmente piegare ma piuttosto si rompono, e questi si dicono *rigidi* o *inflessibili*. All'incontro ve ne sono di quelli che si piegano grandemente senza rompersi, e si dicono *flessibili* o *pieghevoli*. I corpi che facilmente si piegano sono molto utili pei bisogni della vita; servano d'esempio le funi, i fili di seta, di ca-

(1) *Traité de Chimie*. Paris, 1821, t. I, p. 261.
(2) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXXVIII, p. 109.

nape, di lana, i ramuscelli di diverse specie d'alberi. Noi ricaviamo pure de' grandi vantaggi dai corpi assai *resistenti al piegamento*, cioè da quelli che non si possono rompere nè piegare senza una gran forza. Per questa qualità i lavori di ferro e di bronzo conservano così durevolmente le loro forme; per questa le travi che sostengono i tetti e le soffitte ci assicurano la vita nelle nostre abitazioni. Fecero intorno ad essa delle belle ed importanti sperienze il Musschenbroek, e diversi altri autori; ma noi non possiamo che rimandare i lettori alle loro opere (*).

CAPO VIII.

DELL' ELASTICITÀ

175. Riscontrasi più o meno in tutti i corpi solidi la proprietà, che quando sono stati alterati di figura per l'azione di una forza esteriore, al cessare di questa tendono a riacquistare la figura di prima; e questa chiamasi la *Elasticità*. Suole comunemente appellarsi Elasticità anche la tendenza che hanno i fluidi aeriformi compressi di riprendere, dopo che sono rilasciati a sè medesimi, il loro primitivo volume. Ma avendo noi già assegnato a questa tendenza il nome di *Forza espansiva*, useremo in questo trattato del vocabolo *Elasticità* pei soli corpi solidi.

Io distinguerò nei solidi quattro specie di Elasticità, quella alla distensione, quella alla percussione o alla compressione, quella all'inflessione, e quella alla torsione.

176. L'Elasticità alla distensione è quella per cui

(*) Musschenbroek, *Introductio ad Cohærentiam Corporum firmorum*, cap. V e seg. *Intr. ad Phil. Nat.* § 1217. — Buffon, *Memorie dell'Accad. di Parigi*, 1740, 1741.

certe corde allungate a forza oltre il loro stato naturale, tendono a ritornare alla primitiva lunghezza. Ce ne forniscono esempii le corde metalliche, e quelle di intestini, le quali sì dell' una che dell' altra specie producono appunto suono per questa qualità. In fatti se queste, dopo essere state tese fra due punti fissi, vengono tirate di traverso e con ciò allungate, e poscia abbandonate a sè stesse, dalla tendenza che hanno a raccorciarsi sono esse dapprincipio ricondotte alla situazione primitiva; qui però non si fermano, ma per la proprietà dell' inerzia passano oltre, e s' incurvano dall' altro lato; dopo questo nuovo incurvamento per la medesima tendenza a raccorciarsi retrocedono di nuovo, e così più volte di seguito, eseguendo diverse successive *oscillazioni* o *vibrazioni*. Queste poi comunicandosi all'aria e dall'aria all' orecchio, danno origine alla sensazione del suono.

Nasce secondo gli atomisti questa prima specie di Elasticità da ciò, che le particelle di molti corpi, allorchè sono state allontanate oltre al loro stato naturale, tendono per l' attrazione molecolare, secondo che si è già detto al § 152, a ravvicinarsi nuovamente e a porsi alle distanze primitive.

177. L' Elasticità alla pressione o alla percussione si può osservare nelle palle d'avorio, le quali lasciate cadere sopra un piano resistente ne vengono di nuovo rimbalzate, come pure nel sughero che premuto cede e poi torna a rigonfiarsi, e in molte altre sostanze. La gomma elastica manifesta sì l' Elasticità alla pressione che quella alla distensione.

Questa maniera di elasticità si fa dipendere da un giuoco delle molecole affatto contrario al precedente, vale a dire dalla tendenza che esse, essendo ravvicinate più del loro stato naturale, hanno ad allontanarsi di nuovo fino alle primiere distanze, tendenza che nasce da mutua ripulsione prodotta fra esse dal calorico.

178. L' Elasticità alla flessione è quella che si ma-

nifesta nelle lamine piane, specialmente se sono metalliche, quando dopo piegate tendono a raddrizzarsi; ed anche nelle lamine curve allorchè o raddrizzate o curvate maggiormente tendono a riprendere la primiera curvatura. Riguardo alle lamine piane che vengono incurvate, il fenomeno si spiega ammettendo che le particelle situate nella convessità vengano col piegamento allontanate alquanto l'una dall'altra, e perciò recate a distanze più grandi di quelle a cui dovrebbero naturalmente trovarsi per la combinata azione dell'attrazione molecolare e del calorico, per cui sono sollecitate a ravvicinarsi di nuovo; mentre in vece quelle le quali si trovano nella concavità vengono ravvicinate più che non sono naturalmente, onde cercano di nuovamente allontanarsi; dalla quale doppia tendenza delle une ad accostarsi e delle altre ad allontanarsi, ne risulta che la lamina tende a raddrizzarsi. La spiegazione si applica facilmente anche alle lamine naturalmente curve, e che vengono a forza o raddrizzate o maggiormente curvate. E da ciò appare che in questa specie di Elasticità si trovano combinate quella alla distensione e quella alla compressione.

Abbiamo molti vantaggi da questa sorta di Elasticità; p. e. nelle molle degli orologi, in quelle delle vetture (*), in quelle degli acciarini da schioppo, nelle molli da cucina, nelle pinzette degli artefici.

Si osserva che le lamine suddette lasciate in libertà dopo una inflessione vanno lungo tempo oscillando al di là e al di qua della situazione naturale; divengono però le oscillazioni successivamente minori, e in fine le lamine, seppure il piegamento non fu molto grande, si fermano nella situazione che avevano prima

(*) Nella *Bibliothèque Britannique, Sciences et Arts*, anno 1815, t. LVIII, p. 208, leggonsi alcune sperienze del sig. Edgeworth, dalle quali risulta che le molle, oltre al servire al comodo de' viaggiatori, rendono le vetture più agevoli ad essere tirate.

dell' inflessione. Sono queste oscillazioni una conseguenza dell' elasticità combinata coll' inerzia, le quali le producono in quello stesso modo che abbiamo poco sopra esposto per le corde elastiche; e il loro graduato restringimento parte nasce dalla resistenza dell'aria, e parte altresì da certa difficoltà e attrito, che provano le molecole nel prestarsi a questi movimenti, altrimenti esse continuerebbero colla medesima ampiezza per un tempo indefinito.

179. L' Elasticità alla torsione è quella che si manifesta specialmente ne' fili metallici, allorchè attorti cercano di storcersi nuovamente. Importando grandemente ai Fisici la cognizione della sua legge, Coulomb fece su di essa molte sperienze, dalle quali risultò:

1.° Che a pari circostanze, cioè ad ugual grossezza e lunghezza del filo e ad ugual grado di attorcimento, la forza per istorcersi detta *momento di detorsione* varia secondo che il filo è d' una o d' altra sostanza; nell' acciajo a cagion d' esempio ella è più forte che nell' ottone.

2.° Per una medesima sostanza, e ad altre circostanze pari varia questo momento di detorsione in ragione diretta semplice dell'angolo di torsione; semprechè però l' ampiezza di quest' angolo sia dentro a que' limiti che il filo possa di nuovo storcersi compiutamente.

3.° Supposto che il filo non muti altro che la lunghezza, il suddetto momento varia in ragione inversa semplice di questa lunghezza.

4.° Finalmente quando fra due fili non vi sia altra diversità che della sottigliezza, i momenti loro sono in ragione diretta delle quarte potenze dei diametri dei fili.

È poi singolare che il peso tendente il filo non influisce per nulla su questa forza o momento (*).

(*) V. Biot, *Traité de Physique*, t. I, p. 483 e seg.

180. Siccome coll' assottigliarsi de' fili può questa forza di storcimento divenire estremamente piccola, così dalla Elasticità alla torsione noi possiamo avere un mezzo dilicatissimo per misurare le minime forze. E in fatti su di un tale principio il medesimo Coulomb immaginò la sua *bilancia di torsione* per misurare le forze attrattive e ripulsive dell' elettricità e del magnetismo; e Cavendish con un apparecchio pressochè simile riuscì a rendere sensibile l'attrazione di gravitazione fra piccoli corpi e alle piccole distanze (§ 107).

Considerazioni generali sull' Elasticità.

181. Per dir qualche cosa sull' Elasticità in genere, cominceremo a notare che ella non si misura già dalla assoluta quantità della retrocessione verso lo stato primitivo, ma bensì dal paragone di questa retrocessione col cambiamento sofferto. Così i Fisici dicono che l'Elasticità è *perfetta* alloraquando i corpi ripigliano esattamente la medesima figura di prima, e ch'ella è *imperfetta* quando essi ritengono una parte della sofferta alterazione.

I Meccanici nel valutare il grado dell' Elasticità de' corpi hanno altresì riguardo alla forza che questi spiegano nel ripigliare la figura primitiva; ma intorno a questo si può consultare la teorica ch' essi danno dell' urto dei corpi; noi ci limiteremo a dire che i corpi che godono di perfetta Elasticità, considerati relativamente al ritorno alla primitiva loro figura, hanno un tal pregio anche riguardati nel senso dei Meccanici.

Le sostanze dotate di Elasticità più perfetta sono: l'acciajo temperato, l'ottone battuto, l'avorio, il vetro ridotto in lamine o in fili. Vengono dopo questi le ossa, i legni, e gradatamente tutte le altre sostanze solide, le quali tutte mostrano più o meno di

Elasticità, non essendovi forse verun solido in natura che ne vada interamente sfornito. Riguardo ai metalli il grado dell'Elasticità è in quest'ordine: ferro, rame, argento, oro, stagno, piombo; ed è questo anche l'ordine della loro durezza o resistenza all'intaccamento.

Egli è stato osservato che quando il cambiamento della forma di un corpo non supera un certo limite, la elasticità di esso è perfetta, vale a dire esso può riacquistare esattamente la figura di prima: quando però questo limite venga ad oltrepassarsi, il corpo dopo lasciato a sè conserva sempre una parte del sofferto cambiamento. Questo limite per alcuni corpi non si può raggiungere, giacchè prima si rompono; sono di questo genere il vetro e l'acciajo fortemente temperato: per altri corpi vi si giunge dopo aver loro fatto soffrire un cambiamento assai grande; così avviene dell'ottone. In altri corpi infine, p. e. nel piombo, questo limite è presto oltrepassato.

182. L'elasticità dei metalli si può aumentare con diverse pratiche, cioè:

1.° Per mezzo della tempera. Questa serve particolarmente per l'acciajo, il quale con essa acquista non solo durezza ma anche elasticità, però ne diviene altresì fragile, onde ella non deve essere troppo cruda. Il ferro dolce non riceve tempera: il bronzo poi tutto all'opposto dell'acciajo, per mezzo della tempera diviene malleabile. Il vetro in fine acquista con essa una singolare fragilità, come si è veduto parlando delle lagrime bataviche e delle bottiglie di Bologna.

2.° Col lavorarli in certe particolari maniere, come sarebbe facendoli passare dalla trafila o dal laminatojo, o battendoli a freddo. L'ottone, p. e., si rende elastico col batterlo.

3.° Coll'unirvi altre sostanze o metalliche o d'altra natura. La lega del rame collo stagno cioè il bronzo

è assai più elastica dei due metalli componenti, per cui ella è molto atta alla produzione del suono, e quindi alla fabbricazione delle campane. L'acciajo, che colla tempera può acquistare un sì alto grado di elasticità, non è che ferro unito a una piccola dose di carbonio e di silicio. E nell'acciajo indiano detto *wootz*, che è forse il migliore di tutti, si stima che si trovi contenuto qualche poco di *alluminio* (*).

183. Scorse brevemente in questi due capi parecchie qualità dei corpi solidi, ci resterebbe ora a parlare delle loro cagioni. Ma intorno a queste non si hanno che nozioni assai scarse ed oscure: ecco nulladimeno qualche poco di quello che si conosce.

La *mollezza* e la duttilità nascono secondo gli atomisti dal potere le particelle elementari de' corpi scorrere, sebbene con qualche difficoltà, le une sopra le altre, senza che perdano il vicendevole legame che le ritiene insieme. La fragilità e la friabilità si fanno dipendere dall'essere le molecole di quei corpi che hanno queste qualità, in tale condizione che allontanate alcun poco le une dalle altre, subito escono da quei limiti di vicendevole distanza fino a cui l'attrazione molecolare può tenerle unite. In quanto alla *elasticità* abbiam già detto che nasce da tendenza delle *molecole* a ritornare alle primitive situazioni quando ne sieno state rimosse. Che poi le molecole si trovino piuttosto in una che in altra di tali condizioni, si dice, stando sul generale, essere cosa che dipende dalla loro natura e dalla maniera d'aggregazione; si scorge in fatti, specialmente dagli effetti della tempera, che anche il modo d'aggregazione vi ha parte. Ma le cagioni particolari di ciascuna di siffatte condizioni delle molecole non sono peranco conosciute.

Qualunque però sieno queste cause, noi dobbiamo

(*) Giornale di Brugnatelli. 1820, p. 309. 1821, p. 247. 1823, p. 80.

riconoscere essere stata una provvidissima disposizione del Creatore quella di avere formato de' corpi dotati di cotante diverse qualità, e così bene adattati ai multiplici bisogni dell'uomo. Di quanti comodi non saremmo noi privi, se ci mancassero i corpi tenaci, o que' che sono pieghevoli, o quelli che son malleabili; o se la durezza e la consistenza dei corpi fossero molto al di sopra delle nostre forze, talchè non li potessimo ridurre alle forme che ci abbisognano!

CAPO IX.

DELLA CRISTALLIZZAZIONE

Nozioni sperimentali.

184. Si trovano in natura molti corpi dotati di regolari figure geometriche, ai quali si dà il nome di *cristalli* o di corpi *cristallizzati*.

Tal è il cristallo di rocca, il quale suole presentarcisi in pezzi aventi la forma di un prisma esaedro terminato da una o da due piramidi esaedre, e talvolta in pezzi formati da due piramidi esaedre congiunte alle basi (fig. 9, 10, e 11); ed è la cristallizzazione della sostanza minerale appellata *quarzo* composta quasi interamente di silice.

Il sulfuro di ferro, ossia *pirite marziale*, sostanza composta di zolfo e ferro, si trova sovente cristallizzata in cubi, in ottaedri regolari, in dodecaedri a facce pentagone (fig. 12, 13 e 25).

Il carbonato di calce, sostanza minerale assai comune, composta di calce e d'acido carbonico, la quale allo stato di pietra si conosce comunemente sotto il nome di *marmo calcare*, presenta un grandissimo numero di forme cristalline, fra le quali citerò le seguenti:

a) Il parallelepipedo obbliquangolo (fig. 14). Tali sono quei cristalli che ci vengono sotto il nome di *cristalli d' Islanda*, i quali sono trasparentissimi, e posseggono la singolare proprietà di raddoppiare le immagini degli oggetti veduti attraverso, detta la *doppia rifrazione*.

b) Il prisma esaedro regolare (fig. 15).

c) Il dodecaedro a faccie triangolari scalene (fig. 16).

Osservando il granito vi si scorgono delle parti lucenti che mostrano un contorno regolare in figura di parallelogrammo: esse sono cristalli di *feldspato*, uno de' componenti del granito.

185. Questi sono corpi che si trovano cristallizzati nelle rocce e nelle miniere. Ma vi sono altresì dei cristalli che si vanno formando anche presentemente o dalla natura o coi processi della Chimica.

L'acqua a cagion d'esempio nel congelarsi suol cristallizzare. Ciò si scorge ne' fiocchi della neve caduta di fresco, la quale se mentre cade piuttosto rara viene raccolta sopra un corpo asciutto e freddo e di colore oscuro, osservata diligentemente si ravvisa formata in bellissime figure geometriche, simili per lo più a stelle esagone ramificate (*). La cristallizzazione dell'acqua si riconosce eziandio in quei fiorami o fogliami che sogliamo vedere d'inverno sui vetri delle finestre, e i quali derivano dalla successiva deposizione delle particelle vaporose sparse nell'aria delle camere. Una specie di cristallizzazione, benchè meno perfetta, succede ogni qualvolta l'acqua incomincia ad agghiacciarsi, formandosi al principio dell'agghiacciamento degli aghi dentellati e ramificati a modo di pettini.

Nel 1805 il Sig. Héricart de Thury, nella ghiac-

(*) Vedine un esempio nella figura 17. Una copiosa raccolta delle figure della neve si può vedere nel t. XVIII degli *Annales de Chimie et de Physique* di Parigi.

ciaja naturale di Fondeurle in Delfinato trovò sull' agghiacciato pavimento e dentro alcune grandi stalattiti di ghiaccio internamente vote de' cristalli limpidissimi di ghiaccio. I più erano prismi esaedri, i quali sopra la base superiore o libera mostravano delle strie parallele alle faccie laterali; alcuni di questi prismi al luogo degli spigoli intorno ad una tal base avevano delle faccette; altri cristalli erano de' prismi triangolari. Un altro esempio di cristallizzazione del ghiaccio è stato osservato nel 1821 dal D. Clarke Professore di Mineralogia a Cambridge. Questi sotto ad un ponte di legno vicino a quella Città il vide cristallizzato in *romboidi*, alcuni dei quali arrivavano alla grandezza di un pollice; e provenivano dalla condensazione di una nebbia che si andava sollevando da una vicina caduta d' acqua, essendo la temperatura per qualche frazione di grado sotto il punto della congelazione (*).

186. I cristalli che si producono coll' arte, vale a dire colle forze della natura messe in azione dall' arte, si ottengono o colla fusione, o colla soluzione in qualche liquido, o colla sublimazione. Colla fusione si ottiene fra le altre la cristallizzazione dello zolfo. Si fa fondere dello zolfo in un' ampollina di vetro, indi si ritira dal fuoco, e quando comincia a congelare, si fa un foro nella crosta superficiale entro al collo dell' ampollina, e da questo buco si versa fuori la parte ancor liquida; poi si rompe il vaso, e si vede la cavità interna tutta seminata di aghi cristallini. Questa esperienza si dee a Rouelle, e dal celebre Brongniart si è trovato ch' ella riesce anche col bismuto.

187. Il metodo delle soluzioni si suole usare coi sali. Si fa sciogliere il sale p. e. nell' acqua distillata fino a che ella ne sia satura; indi o si fa lentamente evaporare quest' ultima, ovvero in alcuni casi, essendosi fatta la soluzione a caldo, si pone questa a raffreddare. Nell'uno

(*) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXI, p. 515.

e nell'altro caso, o dopo l'evaporazione o dopo il raffreddamento, il sale non può più restar tutto disciolto, e una parte passa allo stato solido prendendo forme regolari. Il sal comune o muriato di soda cristallizza in cubi, l'allume di rocca in ottaedri regolari, il sal nitro o nitrato di potassa in prismi esaedri a sommità diedre per lo più uniti parecchi insieme.

Per ottenere dalle soluzioni più perfetti e regolari cristalli, fa d'uopo procurare che l'evaporazione o il raffreddamento siano lenti e tranquilli, giacchè allora le particelle possono unirsi fra loro più regolarmente. Alcuni processi poi onde averli di notabile grandezza e bellezza possono vedersi nei trattati di Chimica (*).

188. Molti sali nella loro cristallizzazione ritengono una porzione dell'acqua ove stavano disciolti, la quale può esservi contenuta in due maniere, *chimicamente unita* cioè, e *libera*. Quella unita chimicamente, in ciascuno de' sali che possono contenerla si trova in dose costante, e si chiama *acqua di cristallizzazione*. Di questa, per un esempio, ve n'ha nell'allume di rocca. Quando veggiamo il gesso bruciato, o *solfato di calce deacquificato*, dopo impastato coll'acqua tutto ad un tratto indurarsi, l'acqua che scompare passa appunto allo stato di acqua di cristallizzazione. L'altra sta semplicemente interposta fra le molecole saline, ed è in dose variabile; essa è quella che fa decrepitare i sali posti sul fuoco, p. e. il sal comune quando è ottenuto dall'acqua del mare, non però quando è cavato dalle miniere.

189. L'ultimo modo di cristallizzazione artificiale, cioè quello della *sublimazione*, ha luogo quando una sostanza lentamente evapora, e i suoi vapori si raccolgono in istato concreto sotto forme cristalline. Ciò si può ottenere colla canfora, coll'arsenico, coll'acido

(*) Fra gli altri veggasi Thénard, *Chimie*, t. II, p. 309 e seg. dell'ediz. 1821.

benzoico. I fiorami agghiacciati dei vetri delle finestre si possono riguardare come cristalli formatisi per sublimazione.

190. Da questi esempii e da moltissimi altri che si possono vedere nei trattati di Mineralogia e di Cristallografia, possiamo scorgere che la facoltà di cristallizzare è sommamente estesa in natura. Quasi tutti i minerali possono in fatti presentarsi sotto forme cristalline; e se ordinariamente non si trovano cristallizzati, deriva ciò dal non essere stata abbastanza tranquilla e libera la loro formazione. Ed anche il possono molte sostanze d'origine organica: sono in fatti di tale origine la canfora e l'acido benzoico di cui si è or ora parlato; e a queste possiamo aggiungere lo zucchero, non essendo altro lo zucchero *candito* che la cristallizzazione di questa sostanza fatta sciogliere nell'acqua.

191. Qual è ora la ragione di questo fenomeno? Stando sul generale, possono gli atomisti facilmente rispondere, dicendo che esso nasce da una forma regolare geometrica delle particelle, e da una loro regolare disposizione. Ma qual è la forma delle particelle di ciascuna sostanza? In qual maniera trovansi esse unite insieme in ciascun cristallo? Perchè una medesima sostanza cristallizzabile presenta varie forme cristalline differentissime? La risposta a queste dimande è assai più difficile, e vi si sono affaticati per lungo tempo diversi autori di gran nome, Linneo, Romé de l'Isle, Bergman. Finalmente vi si accinse il celebre Haüy, il quale vi ha, si può dire, risposto compiutamente, e colla sua *Cristallografia* ha dato una estesa ed eccellente teoria di questo singolare fenomeno. Di tale teoria noi faremo qui alcuni cenni; giacchè quantunque ella appartenga più propriamente alla Mineralogia, pure ella spande molta luce sulla forma e sul modo d'aggregazione delle particelle costituenti i corpi, oggetto che dee grandemente importare anche ai Fisici.

Dottrine teoriche, e prima della struttura dei cristalli.

192. Noi cominceremo dall'anatomia di questi corpi, vale a dire dall'esame del modo con cui i cristalli già formati trovansi costrutti per mezzo delle particelle che li compongono. Poscia passeremo ad esporre alcune nozioni sulla loro formazione e sul loro accrescimento.

Molecole integranti. Supponiamo che si abbia un cristallo di carbonato di calce, che è una delle sostanze più facili a rinvenirsi cristallizzate. Provando a segarlo con un tagliente coltello e secondo diverse direzioni, se ne troverà agevolmente una, in cui esso si presterà naturalmente al taglio, e secondo la quale si lascerà dividere in tante sottili laminette, tutte parallele e di superficie lucenti, in guisa da indurre ad ammettere che le separazioni non sono opera semplicemente del taglio, ma sono una conseguenza della struttura del cristallo, e che questo può considerarsi siccome formato da tante minime laminette parallele, ugualmente grosse, ed unite per adesione. Tentando nuovamente in altre direzioni, si potrà trovare un secondo verso di facile segamento o di naturali separazioni, secondo cui il cristallo si mostrerà similmente divisibile in laminette piane parallele sottilissime: ora è facile a concepire che queste nuove separazioni eseguendosi sulle lamine ottenute a principio divideranno la massa cristallina in tante sottilissime verghette tutte di eguale grossezza, come se si segasse un mazzo di carte. Ma il cristallo si trova divisibile ancora per un terzo verso; perciò eseguendo i tagli tanto vicini l'uno all'altro quanto il minerale lo permette, le già menzionate verghette potranno venir segate in tanti pezzetti tutti uguali fra loro e tutti di forma parallelepipeda. Si può adunque riguardare quel cristallo di carbonato di calce siccome l'aggregato di tanti minimi ed uguali parallelepipedi.

Provando tutte le altre forme di cristalli di questa sostanza, si arriva sempre ad un medesimo risultamento, e si ottengono in ogni caso dei minimi parallelepipedi, i quali secondo ogni argomento dedotto dalla esteriore conformazione e dalle direzioni dei naturali segamenti de' cristalli stessi, sono per tutti della medesima figura e delle medesime dimensioni; vale a dire sono tanti minimi *romboidi ottusi* (tanti solidi cioè a facce tutte romboidali e dove due angoli solidi opposti risultano dal concorso di tre angoli piani ottusi) (fig. 18). Ora questi si dicono le *molecole integranti* del carbonato di calce; e questa sostanza si riguarda come formata dall'unione di tante di esse, tutte uguali, composte ciascuna di un determinato numero di molecole d'acido carbonico e di un determinato numero di altre di calce, e incapaci di ulteriore divisione seppure non si distrugga l'unione chimica dei due componenti.

193. Qualunque altra sostanza cristallizzabile, da poche differenze in fuori, si comporta egualmente, e guida a una conseguenza analoga.

Una di queste differenze sta nella facilità di prestarsi alla divisione meccanica. Perciocchè non tutti i cristalli si possono dividere con un tagliente coltello; ma per molti, a cagione della loro maggiore durezza, conviene ricorrere ad altri mezzi. Per alcuni giova la percussione; giacchè con de' colpi di martello dati opportunamente, si riesce a trovarvi delle direzioni di separazione naturale, e si è condotti a concepirli formati essi pure di lamine parallele sottilissime, divisibili in finissime strisce, e per ultimo in tanti uguali minimi pezzetti o *molecole integranti*, le quali per tutti i cristalli appartenenti a una medesima di tali sostanze sono perfettamente uguali di figura e di grandezza. Ma molti non si prestano nemmeno al martello, presentando sempre con esso delle fratture irregolari; vi è però ancora un mezzo, ed è di osservare

di sera al lume di una candela la luce che viene riflettuta da quelle fratture; si trovano con ciò delle direzioni ove questa riflessione è assai più viva, e viene così svelata l'esistenza e la giacitura delle lamine naturali, non che la maniera secondo cui queste potrebbonsi suddividere in istriscie e in minimi pezzetti o molecole integranti (*).

194. Un'altra differenza si è che non sono sempre limitate a tre sole le direzioni della naturale divisione de' cristalli, ma che molte sostanze ne hanno un numero maggiore. D'onde risulta che le molecole integranti non sono sempre parallelepipede, ma possono anche avere altre forme; giacchè i parallelepipedi derivanti dalla divisione secondo tre direzioni, se vengono ulteriormente divisi in altri versi, danno delle molecole d'altre figure.

195. Noi porremo adunque per base fondamentale della dottrina della cristallizzazione, 1.° Che ogni corpo cristallizzato è formato dall'unione di tante molecole perfettamente uguali dette *molecole integranti*, ognuna delle quali sia composta di tutti i principii chimici essenziali che entrano a comporne la sostanza, contenendo un determinato numero delle molecole *elementari* di ciascuno, e non possa essere ulteriormente separata senza che venga distrutta l'unione chimica di questi principii; 2.° che tutti i cristalli formati di una medesima sostanza, benchè mostrino esteriormente delle forme totalmente disparate, risultano nulladimeno (trattine rarissimi casi) dall'unione di molecole integranti affatto simili.

È però da osservarsi che insieme agli ingredienti essenziali e di stabile proporzione i quali costituiscono le dette molecole integranti, vi possono essere sparsi frammezzo a queste degli altri principii accidentali, di proporzioni variabili, e incapaci di turbare il modo

(*) Haüy, *Minéralogie.* 1822, t. I, p. 120.

d'unione dei primi. Di qui è che le analisi chimiche instituite, e. g., sui diversi cristalli di quarzo, trovano in questi delle leggiere differenze, benchè le loro forme cristalline, che sono dovute al principalissimo ingrediente cioè alla silice, siano sempre le medesime.

196. Le figure di queste molecole integranti sono i tre solidi più semplici che abbiano faccie piane; cioè la piramide triangolare, il prisma triangolare, e il parallelepipedo. Però ciascuna di queste figure può esser dissimile da un minerale all' altro: la piramide triangolare è regolare nel sulfuro di rame, irregolare nello zolfo; il parallelepipedo è cubico nel muriato di soda, romboideo nel carbonato di calce; e il prisma triangolare che è regolare nello smeraldo, non lo è nel sale amaro o *solfato di magnesia*. Ma per una circostanziata cognizione delle particolari figure delle molecole integranti dei diversi minerali, noi rimanderemo il lettore alla Mineralogia di Haüy. Si abbia poi fisso in mente ciò che si è veduto più sopra, cioè che quelle fra esse figure che non sono parallelepipede risultano dalla divisione di un parallelepipedo; stantechè ciò verrà a proposito nel seguito.

197. *Forme primitive.* — Un altro punto della teoria de' cristalli è quello che riguarda i *nuclei o le forme primitive*, delle quali procureremo di dare una nozione con qualche esempio.

Se noi raccogliessimo insieme tutte le diverse forme cristalline che può prendere il carbonato di calce, delle quali secondo il computo di Haüy (*) se ne sono finora riscontrate 154, e le spogliassimo di tutta la materia superficiale per mezzo di tagli secondo le direzioni della natural divisione; esse darebbero tutte, per diverse che siano, un medesimo risultamento, vale a dire si potrebbe cavar da tutte un parallelepipedo con faccie romboidali aventi sempre una medesima

(*) *Mineralogie*, t. I, edizione dell'anno 1822.

vicendevole inclinazione. Una cosa somigliante avrebbe luogo nel sulfuro di ferro, tutte le forme del quale per mezzo dello svestimento della materia superficiale ci darebbero dei cubi. E lo stesso dicasi di qualunque altra sostanza cristallizzata. Ora questi solidi, i quali si ricavano con forma costante da tutte le diverse forme cristalline di una medesima sostanza, si chiamano i *nuclei*, ovvero le *forme primitive*: *nuclei*, perchè essi si trovano generalmente entro a ciascun cristallo rivestiti e mascherati da altra esteriore sostanza cristallina; *forme primitive*, perchè sono quelle forme costanti, dalle quali per mezzo di diversi modi di sovrapposizione di materia derivano tutte le altre forme cristalline che può presentare ciascuna sostanza, e che diconsi *secondarie*.

198. Sovente i cristalli ci presentano la forma primitiva bella e scoperta, senza materia superficiale che la ricopra. Così il carbonato di calce e il sulfuro di ferro si trovano molte volte cristallizzati l'uno in romboidi e l'altro in cubi. In tal caso essi cristalli hanno la proprietà di essere divisibili parallelamente alle faccie, avendo queste nelle direzioni delle naturali separazioni. Molte volte però non ce la mostrano con tutta la regolarità, bensì con qualche sproporzione nelle dimensioni, per sovrapposizione di lamine parallele a qualcuna delle faccie. Il carbonato di calce, p. e., in luogo di romboidi presenta molte volte dei parallelepipedi colle faccie non romboidali, ma semplicemente parallelogrammiche (fig. 14).

199. Queste forme primitive differiscono in generale da una sostanza ad un' altra; malgrado però il gran numero delle sostanze minerali, esse riduconsi a pochissimi generi, cioè a cinque o sei solamente, i quali sono:

1.° Il Tetraedro regolare.
2.° Il Parallelepipedo.
3.° L' Ottaedro alle volte regolare alle volte no.
4.° Il Prisma esaedro regolare.

5.° Il Dodecaedro a faccie romboidali.

6.° Il Dodecaedro piramidale (1).

Delle quali forme in alcune edizioni delle sue opere l' Haüy ha soppresso l'ultima, facendola dipendere dalla seconda (2).

E qui ha luogo quello stesso che abbiamo veduto riguardo alle forme delle molecole integranti, vale a dire che parecchi di questi generi di forme primitive (il 2.°, il 3.°, il 4.°, il 6.°) possono diversificare da una ad altra sostanza. Il parallelepipedo, e. g., talora è cubico, come nel sulfuro di ferro e nel muriato di soda; talora è romboideo, come nel carbonato di calce; talora è un prisma retto a basi quadrate, come nel solfato di magnesia; talora è un parallelepipedo obbliquangolo ove sono uguali fra loro solamente le faccie opposte, come nel feldspato.

200. Ma in qual modo le molecole integranti trovansi disposte in queste forme primitive? Ciò sarà facile a concepirsi richiamando a memoria quanto si è detto parlando della separazione dei cristalli nelle loro molecole integranti. Queste molecole tutte, secondo quello che allora si è detto, o sono di forma parallelepipeda, ovvero si trovano nei cristalli per tal modo disposte da formare tanti uguali gruppi parallelepipedi. E tali parallelepipedi o semplici o composti si trovano collocati gli uni presso gli altri in file rettilinee

(1) Si veggono rappresentate per ordine dalle figure 19, 20, 21, 15, 22, e 11. Per descrivere con facilità il dodecaedro romboidale, si cominci a descrivere un cubo, quindi dal centro di ciascuna faccia di questo si alzi una perpendicolare uguale alla metà della lunghezza di uno spigolo del cubo stesso, e infine si descriva su ciascuna delle faccie stesse una piramide quadrangolare che abbia essa faccia per base e la estremità della corrispondente perpendicolare per vertice. Si avrà fra queste sei piramidi e il cubo compreso, un solido terminato da 24 uguali triangoli isosceli, i quali unendosi a due a due formeranno 12 rombi tutti uguali.

(2) *Cristallographie*, t. II, p. 258.

e in istrati piani sovrapposti parallelamente gli uni agli altri, combaciandosi per quelle faccie che sono contigue, e tenendo parallelamente situate tutte le faccie che sono omologhe. Prendendo per un esempio il cubo primitivo del sulfuro di ferro, trovansi le sue molecole integranti unite insieme in tanti uguali strati quadrati sovrapposti gli uni agli altri, essendo ciascuno strato composto di tante uguali file rettilinee, e ciascuna fila costituita da tanti minimi cubi collocati gli uni accanto agli altri colle faccie a mutuo combaciamento. Veggasi uno di questi strati rappresentato dalla fig. 23.

201. Serva per secondo esempio lo smeraldo, il quale ha per forma primitiva il prisma esaedro regolare, e per molecole integranti dei prismi triangolari regolari. Si trovano questi ultimi disposti in tanti strati esagoni, ciascuno de' quali si può concepire formato nel modo rappresentato dalla figura 24, dove le linee nere indicano i contorni delle basi di tanti parallelepipedi formati ciascuno con due prismi triangolari; e le linee punteggiate indicano la separazione di quelle basi in triangoli, che sono poi le basi dei prismi triangolari. Si può qui osservare che a compiere interamente la figura, dopo uniti i parallelepipedi, debbono aggiungersi ne' due lati BC, EF anche alcuni prismi triangolari. Ciò è quello che suole aver luogo ogni volta che le molecole integranti non sono esse stesse di forma parallelepipeda; succede che oltre alla unione dei gruppi parallelepipedi, conviene concepire collocate in qualche parte della superficie del cristallo, per l'intero compimento della figura, anche alcune molecole semplici: quest'aggiunta però non ha luogo che alla sola superficie, ed è una quantità incomparabilmente minore della totalità delle molecole.

202. *Forme secondarie.* — Veniamo ora al terzo degli oggetti che si considerano nella struttura dei cristalli, vale a dire alle forme secondarie, ed esaminiamo come esse sieno costrutte, e come una medesima so-

stanza minerale ne possa avere un numero grandissimo. E per maggiore facilità cominciamo da qualche esempio.

Prendiamo primieramente a considerare il dodecaedro a faccie pentagone derivato dal cubo, forma secondaria che si riscontra sovente nel sulfuro di ferro (fig. 25). Risulta esso dal trovarsi sovrapposto a ciascuna faccia del cubo primitivo un sufficiente numero di strati di molecole integranti, i quali da due lati opposti vanno successivamente decrescendo di due file di molecole per ciascuno, e dagli altri due lati vanno mancando d'una fila di molecole l'uno strato sì e l'altro no. Nella figura 26 il quadrato ABCD rappresenta una faccia del cubo primitivo, e i rettangoli *abcd*, *efgh*, *iklm*, *nopq* rappresentano gli strati successivamente sovrapposti. Per intendere poi chiaramente come gli strati collocati sopra ad una delle faccie del cubo combinati con quelli sovrapposti alle altre faccie, diano origine al dodecaedro in quistione, gioverà avere sott'occhio il modello appositamente costrutto per rendere sensibile una tale struttura e che si vede delineato nella figura 27.

Risultano in vero da questa maniera di sovrapposizione di strati come delle gradinate, le quali fanno sì che le faccie del dodecaedro non siano perfettamente liscie; ma tanta è la piccolezza delle molecole integranti, che le scabrezze non sono in veruna guisa riconoscibili nè al tatto, nè all'occhio, e nemmeno al microscopio. In quanto poi alla forma totale del solido, esso ha dodici uguali faccie pentagone, quasi regolari, non però esattamente, essendovi in ciascuna uno de' lati alquanto maggiore degli altri quattro che sono uguali.

203. Lo stesso sulfuro di ferro ha anche per forma secondaria l'ottaedro regolare, il quale ci servirà di secondo esempio. Viene questo prodotto da un rivestimento del cubo primitivo per mezzo di involucri di

molecole, i quali ne ricoprono tutta la superficie lasciando scoperte le sole punte degli angoli solidi. Concependo tali involucri sovrapposti l'uno dopo l'altro, i primi lasciano ancora delle forme cubiche, ma cogli angoli solidi troncati: e queste troncature, divenendo successivamente più grandi per la sovrapposizione di nuovi involucri sempre più decrescenti negli angoli solidi, vengono a lungo andare ad incontrarsi fra loro, e finalmente costituiscono la superficie dell'intero cristallo, il quale trovasi allora ridotto in ottaedro regolare.

204. Ecco adunque dal cubo primitivo del sulfuro di ferro nate due forme secondarie. Se ne avrebbero altre considerando il cristallo a varie epoche del suo passaggio dal cubo al dodecaedro, e dal cubo all'ottaedro. Le figure 28 e 29 rappresentano due forme che si mostrano in quest'ultimo passaggio, l'una verso il principio, l'altra verso il fine. Molte altre forme poi potrebbero derivare da altri modi di sovrapposizione; come si può vedere nei trattati di Cristallografia.

205. In generale le forme secondarie si possono riguardare siccome delle forme primitive rivestite da strati di molecole, i quali vadano decrescendo successivamente secondo diverse leggi, e formino colla successione de' loro orli le faccie proprie di esse forme secondarie. In questi nuovi strati però la interna disposizione delle molecole continua ad essere la medesima come nei nuclei. Il primo strato che sta sovrapposto alla forma primitiva è parallelo allo strato sottoposto, ed è formato di somiglianti parallelepipedi o semplici o composti; le faccie inferiori di questi suoi parallelepipedi combaciano per tutta la loro estensione colle faccie superiori de' parallelepipedi sottoposti, e le faccie laterali di quelli trovansi nei prolungamenti delle faccie laterali di questi. Lo stesso dicasi del secondo strato rispetto al primo, e così degli altri. In conseguenza di che un cristallo secondario ha la medesima struttura interna in tutte le sue parti.

206. Tale è in succinto la teoria della struttura dei cristalli data dal celebre Haüy. Chi ne bramasse più estese cognizioni, e desiderasse vedere quali sieno per ciascuna sostanza minerale la figura delle molecole integranti, quella del nucleo, e quelle delle sue diverse forme secondarie, non che le particolari maniere di sovrapposizione di strati che danno origine a queste ultime, può ricorrere alla Cristallografia e alla Mineralogia di questo autore (*).

Qui però è necessaria un'avvertenza. Nelle dottrine or ora esposte noi abbiamo sempre supposto che le molecole integranti siano de' solidi a facce piane i quali combaciassero esattamente gli uni cogli altri; laddove più sopra noi dicevamo che le molecole *elementari* dei corpi, e in conseguenza anche le *integranti*, sono sempre lontane dal mutuo contatto. A fare sparire questa contraddizione è d'uopo riflettere che le figure assegnate dalla Cristallografia alle molecole integranti non constano semplicemente degli spazii effettivamente occupati dalla materia di ciascuna, ma in esse si computa eziandio una parte dello spazio che disgiunge l'una molecola dall'altra. Se in un cristallo di carbonato calcare avente per forma il romboide primitivo, noi immaginiamo condotti tanti piani paralleli i quali distinguano l'uno dall'altro tutti gli strati delle molecole, e quindi altri piani che distinguano gli strati in istriscie, e per ultimo de' nuovi piani che distinguano le striscie in pezzetti, avremo con ciò de' piccolissimi spazii parallelepipedi, entro ai quali si troveranno separatamente contenute le vere molecole integranti del carbonato di calce; ma queste molecole potranno essere molto più piccole di tali spazii, e fors'anche di una forma affatto diversa. Ora questi

(*) *Traité de Cristallographie*, 2 vol. *et Atlas*. — *Traité de Minéralogie*, 4 vol. *et Atlas*. Sì l'una che l'altra stampate in Parigi l'anno 1822.

spazii parallelepipedi sono le *forme cristallografiche* delle molecole integranti, mentre gli spazii veramente occupati dalla loro materia, quando si arrivasse mai a poterli determinare, si direbbero le loro *forme fisiche*.

Della formazione dei cristalli.

207. Passeremo ora a dire eziandio qualche cosa sulla formazione dei cristalli; giacchè quanto abbiamo detto testè non è che un saggio di descrizione del modo nel quale noi li troviamo costrutti, non già una storia della loro produzione e del loro successivo accrescimento. E andrebbe assai lungi dal vero chi s'immaginasse che la natura segua nel formarli lo stesso metodo che noi abbiamo tenuto nel descriverli; che a cagion d'esempio nel comporre un dodecaedro di sulfuro di ferro incominci dal compiere la forma primitiva, col formare prima uno strato quadrato, poi sovrapponendone un secondo, poi un terzo, e così successivamente finchè si abbia un solido cubico; e quindi passi a sovrapporre gli strati decrescenti coi quali riduca la forma primitiva a forma secondaria. In simigliante guisa si ingannerebbe d'assai chi udendo il Botanico o l'Anatomico a descrivere l'una dopo l'altra le diverse parti di un vegetabile o d'un animale adulto, si facesse a credere che quelle parti si fossero formate successivamente con quell'ordine, e alle prime già belle e compiute si fossero andate mano mano applicando le seguenti.

208. Noi prenderemo a considerare particolarmente i cristalli che si ottengono coll'arte chimica, siccome quelli che si possono far nascere a nostro beneplacito, e de' quali possiamo più comodamente spiare il modo d'accrescimento.

Volendo adunque far cristallizzare un sale, si comincia, come s'è detto, a farlo sciogliere nell'acqua,

la quale generalmente lo scioglie meglio se calda; poi si pone questa a raffreddare o a evaporare, il che costringe le particelle saline a raccogliersi insieme in corpo solido. Ora in questo aggregamento sembra che le prime che sono per congiungersi insieme, comincino a collocarsi le une relativamente alle altre in modo tale da poter formare quei parallelepipedi che abbiam detto al § 200, se già non sono esse stesse di tal forma, e da potersi unire regolarmente e combaciare colle faccie; e poscia si accostino e si uniscano insieme. Cominciata poi che sia la cristallizzazione, le particelle che stanno d'intorno al piccolo cristallo si rivolgono intorno ai proprii centri e prendono le posizioni più opportune per potersi regolarmente applicare al cristallo stesso, e quindi esse pure secolui si congiungono e lo aumentano. Questo rivolgimento o direzione delle molecole può essere uno degli effetti dell'attrazione molecolare, ed è favorito dal trovarsi esse sospese ed atte a muoversi intorno a se stesse in qualunque modo. L'accostamento e l'applicazione poi di esse al cristallo si fa dipendere assolutamente da una tale attrazione.

209. Sonovi alcune circostanze le quali determinano piuttosto una maniera di cristallizzazione che un'altra; onde è che talora tutti i cristalli di una soluzione assumono la forma primitiva, e talora una particolare delle forme secondarie. Il sal comune, p. e., venendo sciolto nell'orina cristallizza costantemente in ottaedri; laddove in altre circostanze cristallizza tutto in cubi (1). Ma l'influenza che hanno le varie circostanze nei diversi casi particolari non è ancora interamente conosciuta, benchè su ciò siasi assai studiato e qualche cosa ritrovato (2). Questo però si sa che in tutte le parti simili e similmente situate del nucleo

(1) Hatiy, *Minéralogie*, II, 193.
(2) V. una memoria di Beudant negli *Annales de Chimie et de Physique*, Mai, 1818.

del cristallo si riscontrano quasi sempre i medesimi accidenti. Se a cagion d'esempio sopra di una faccia del cubo primitivo del sulfuro di ferro vi è una tale sovrapposizione di materia da dargli in quella parte l'apparenza del dodecaedro a faccie pentagone, una cosa somigliante ha altresì luogo per la faccia opposta, e per tutte le altre, in guisa che il cristallo ha in tutte le sue parti l'aspetto di quella medesima forma secondaria. E questa si chiama la *legge di simmetria.*

210. Si è trovato altresì che allorquando una sostanza dalle circostanze in cui si trova viene determinata ad assumere o la forma primitiva o qualcuna delle secondarie, ella incomincia a prenderla fino da quando i cristalli sono ancora piccolissimi e visibili solamente col microscopio; talchè nell'ingrandirsi di essi per l'aggiunta di nuove molecole, le sembianze non si mutano; seppure durante l'accrescimento non si cangino le circostanze determinanti la specie della cristallizzazione. Così allorquando il muriato di soda viene determinato a cristallizzare in ottaedri, cominciano le prime molecole ad unirsi in minimi cristalli di tal forma, e questi mentre che vanno gradatamente rivestendosi di nuove molecole e crescendo, conservano sempre la forma ottaedra. Veggasi la fig. 30 dove si è procurato di rendere sensibile questo modo di accrescimento. Che se le circostanze della soluzione determinano piuttosto il cubo, abbiamo de' cubi fino dalla prima nascita dei cristalli, e si mantiene questa forma durante tutto l'accrescimento. Veggasi la fig. 31.

211. Tutte queste cose, sì rispetto al modo dell'unirsi le molecole, come rispetto alla qualità della forma cristallina, le abbiamo dette principalmente per le cristallizzazioni artificiali. Ma si dee credere che esse valgano eziandio per le naturali, sì per quelle che la natura opera di presente, come per quelle che essa

lavorò da' tempi remotissimi e di cui noi non osserviamo che i risultamenti. Veggiamo in fatti che, p. e., il carbonato di calce talora mostra una riunione di cristalli tutti in forma di prismi esaedri sì i piccoli che i grandi, talora ne mostra una serie che sono tutti dodecaedri a triangoli scaleni. Così la neve che cade in una medesima volta suol mostrare le foglie tutte cristallizzate ad uno stesso modo, ma le cangia dall'una volta all'altra.

212. Per la regolarità delle forme, dee la cristallizzazione essere libera, lenta e tranquilla (§ 187); mancandole queste condizioni, i cristalli riescono difettosi. Per mancanza di una sufficiente libertà di spazio, i cristalli non possono estendersi egualmente in tutte le direzioni, ma crescono più da alcune bande che da altre; di qui derivano que' cristalli sproporzionati che mostrano un grande sviluppo in alcune parti e sono piccolissimi in altre. Per difetto di tranquillità e di lentezza sembrano essere derivati quei corpi che mostrano una tessitura cristallina imperfetta, p. e. i corpi fibrosi, lamellari, striati, aghiformi, radiati, ec. Finalmente per un difetto ancor maggiore di queste condizioni, cioè per una unione di molecole troppo affrettata e confusa, si hanno i corpi compatti e di figura indeterminata, de' quali ad ogni passo se ne veggono esempii.

213. Io porrò qui fine a questo saggio sulla teoria della cristallizzazione, rimandando quei lettori che ne desiderassero un maggiore sviluppo alle già citate opere del celebre Haüy, e per alcune nuove importanti osservazioni del sig. Mitscherlich a diverse sue memorie riportate negli *Annales de Chimie et de Physique* (*).

Prima però d'abbandonare del tutto l'argomento riferirò la bella applicazione che se n'è fatta alla fab-

(*) Vol. XXIV; vol. XXVI, p. 222; vol. XXXVII, p. 202.

bricazione del *moiré métallique* ossia latta fiorata, il cui effetto deriva dalla proprietà che hanno i metalli di cristallizzarsi mentre si solidificano. Consiste questo *moiré* in lamine di latta, le quali a cagione di un certo processo cui sono state sottoposte riflettono la luce in diverse guise molto aggradevoli, imitando fiori, foglie, stelle, ec., e vengono adoperate per farne diversi utensili domestici. Per ottenerlo si espone la latta, che altro non è che ferro stagnato, ai vapori dell'acido muriatico, ovvero vi si versa sopra a più riprese una mescolanza d'acido nitrico e d'acido muriatico allungati d'acqua; e poscia si pone in un bagno leggiermente acido e si lava. Con ciò si scoprono i minimi cristalli dello stagno che si erano formati nel suo consolidarsi sul ferro, ma che si trovavano coperti sotto la crosta esteriore pure di stagno; crosta che viene disciolta e lavata da quegli acidi. Scaldando le lamine in diverse maniere, e variando in diversi modi il processo, si ottengono delle varietà nei riflessi di luce, e si ha il *moiré* come più piace, e come più si adatta agli usi cui dee servire. Però conviene difendere questi cristalli con qualche vernice che li lasci trasparire, la quale poi usasi di varii colori onde accrescer loro vaghezza.

CAPO X.

DEGLI EFFETTI DELL'ATTRAZIONE MOLECOLARE NEI FLUIDI, E IN ISPECIE DEI FENOMENI DEI TUBI CAPILLARI

214. Abbiamo finora parlato degli effetti dell'attrazione molecolare sui corpi solidi; passeremo ora a quelli che essa produce ne' fluidi.

Incominciando da quei che hanno luogo nei liquidi, i più singolari fra essi sono quelli detti dei *tubi capillari*; e consistono in ciò che immergendo un sot-

til tubo di vetro o di altra sostanza in un liquido che il bagni, p. e, nell' acqua, il liquido si solleva internamente ad un' altezza maggiore dell' esteriore livello, cosa contraria alle ordinarie leggi dell' idrostatica, per le quali il liquido dovrebbe internamente alzarsi fino alla sola precisa altezza del livello esteriore; come si osserva di fatto nei tubi che non sieno molto sottili. E questo alzamento si mostra maggiore ne' tubi di cavità più sottile, crescendo quanto più si prendono esili. Non però alzansi ugualmente tutti i liquidi in un medesimo tubo, ma qual più qual meno, per esempio più l' acqua che l' alcool. Succede poi tutto il contrario col mercurio, il quale nei tubi di vetro sottili rimane depresso al di sotto del livello esteriore, e tanto maggiormente quanto minore è il loro diametro interno.

215. Questi fenomeni, ai quali se ne sono aggiunti moltissimi altri secoloro intimamente connessi, hanno da molto tempo vivamente risvegliata la curiosità dei filosofi; e ne furono diligentemente studiate le particolarità, e indagata la cagione. E varie ipotesi intorno a questa si immaginarono; chi ebbe ricorso ai vortici Cartesiani, chi alla pressione atmosferica, chi ad altre cause. Ma poco felicemente, finchè non si venne da ultimo all' attrazione molecolare. Senza fermarci sulle altre ipotesi che facilmente caddero, noi citeremo solamente un' obbiezione a quella che li faceva dipendere dalla pressione atmosferica, supponendo che nei tubi esilissimi ella venisse alcun poco impedita; ed è che i liquidi più leggieri non sempre si innalzano maggiormente degli altri, che anzi l' alcool s'alza meno dell' acqua; mentre dovrebbe avvenire diversamente se il fenomeno procedesse dalla pressione atmosferica, giacchè per controbilanciare l'eccesso della pressione esterna si richiederebbe nel tubo una colonna liquida tanto più alta quanto più la sostanza fosse leggiera.

All'incontro riesce felicissima la spiegazione che deriva tali fenomeni dall'attrazione molecolare, dandosi con questa la ragione di tutti, ed altresì assegnandosene le misure. Incominciò ad assoggettare questa spiegazione a calcolo rigoroso il Clairaut verso la metà del secolo scorso, il quale ritrovò alcuni Teoremi; e venne poscia dato compimento all'opera dal celebre Laplace, il quale ne pubblicò una teoria pressochè compiuta (*). Noi esporremo nei seguenti paragrafi questa teoria, però succintamente e in modo quasi puramente storico.

Effetti dell'attrazione de' liquidi coi solidi.

216. Dipendendo questi fenomeni dall'attrazione dei liquidi colla materia solida dei tubi, combinata coll'attrazione che i liquidi stessi hanno verso se medesimi, noi esamineremo separatamente gli effetti di queste due attrazioni; quindi li verremo componendo ed applicando alla spiegazione de' varii fenomeni.

Cominceremo dall'attrazione fra i liquidi e i solidi, ed osserveremo in che modo si comporti un liquido con una lamina piana immersavi verticalmente, secondo i diversi gradi della loro mutua attrazione.

217. Quando adunque l'attrazione fra il liquido e la sostanza della lamina è precisamente uguale alla metà di quella che il liquido ha con se stesso, la superficie di questo si mantiene esattamente orizzontale, segando ad angolo retto la superficie della lamina stessa. S'intende poi che l'attrazione del liquido col solido è la metà di quella che il liquido ha con se stesso, allorquando immaginati due corpi di forma perfetta-

(*) *Théorie de l'Action Capillaire, ou Supplément au dixième Livre du Traité de Mécanique céleste.* Si può anche leggere una memoria del sig. Giovachino Pessuti inserita nel tomo XIV degli Atti della Società Italiana stampato nel 1809, ove questa teoria venne ridotta a dimostrazioni puramente elementari.

mente uguale e formati l'uno colla materia del solido e l'altro con quella del liquido, questi attirano una molecola liquida situata similmente per tutti e due l'uno colla metà forza dell'altro. Fu questo Teorema dimostrato primieramente da Clairaut, e se ne può vedere una dimostrazione elementare nella Fisica di Haüy (*).

218. Quando l'attrazione fra solido e liquido è maggiore della metà che fra liquido e liquido, il liquido si eleva facendo accanto alla lamina come un piccolo argine, ed incontrando la sua superficie scoperta ad angolo ottuso. Il che non è difficile ad intendersi, ammesso che sia il citato Teorema di Clairaut. Supponiamo in fatti che trovandosi immersa verticalmente nel liquido una lamina solida dotata verso di esso della metà di quell'attrazione che egli ha con se medesimo, ed avendo questo la superficie perfettamente orizzontale, supponiamo dico che l'attrazione fra il liquido e la lamina si venga ad aumentare. Le molecole liquide situate a poca distanza dalla lamina perderanno con ciò il loro stato di equilibrio, e quelle fra esse che si trovano alla superficie si accosteranno alla lamina stessa e vi si accumuleranno accanto.

Quanto maggiore poi è la detta attrazione del liquido col solido, tanto è più grande l'elevazione, e tanto più ripido termina il piccolo argine; finchè essendo le due attrazioni uguali, esso innalzasi fino a terminare verticale e tangente alla lamina. Che se l'attrazione fra solido e liquido supera quella fra liquido e liquido, allora secondo Laplace si stende sulla lamina, superiormente al detto argine, un sottil velo liquido che la riveste; e quando essa si estragga, se n'esce bagnata. Così fa l'acqua col vetro.

219. Quando finalmente l'attrazione fra liquido e solido è minore della metà che fra liquido e liquido,

(*) Paris, 1821, t. I, p. 248.

esso liquido a contatto della lamina si deprime, lasciando una fossetta, e tagliando la superficie della lamina ad angolo acuto: ed è questo ciò che mostra il mercurio col vetro. Ciò è pure una conseguenza del Teorema di Clairaut; giacchè se ad una lamina che abbia col liquido la già detta metà di attrazione, ne viene sostituita un'altra di attrazione minore, sulle molecole liquide che sono situate nello spigolo della massa liquida al contatto colla lamina e che stavano equilibrate ai loro luoghi, viene ad acquistare preponderanza l'attrazione della massa liquida stessa, la quale le fa ritirare dal contatto della lamina. Si possono vedere tutti e tre i casi indicati nella fig. 32.

220. Consideriamo ora che avvenga quando la lamina che si immerge sia inclinata o curva. Deesi qui distinguere la faccia inferiore della lamina dalla faccia superiore. Per rispetto alla prima, quando l'attrazione fra liquido e solido sia la metà di quella del liquido con se stesso, questo si eleva in modo da segare quella superficie ad angolo retto (fig. 33); elevasi maggiormente se la sua attrazione col solido è più grande, facendo colla lamina angolo ottuso, ed anche formando superiormente il velo liquido se questa sua attrazione col solido arriva a superare quella che ha con se stesso. Ma all'incontro si eleva meno ed anche si deprime se esso ha col solido meno della metà attrazione che seco medesimo, e forma colla superficie della lamina un angolo acuto.

Alla superficie poi superiore, nel caso della metà attrazione il liquido si abbassa per far colla lamina angolo retto; si abbassa meno ed anche si eleva, se l'attrazione col solido è maggiore della metà di quella verso se stesso; e in vece si abbassa maggiormente se questa attrazione col solido è minore di tale metà. In generale il rapporto delle due attrazioni regola l'angolo che dee fare la superficie del liquido colla superficie scoperta della lamina immersa, il quale è retto

od ottuso od acuto secondo che l'attrazione fra solido e liquido è la metà di quella fra liquido e liquido, o maggiore, o minore di tale metà.

221. Siamo ora in grado di dar ragione, perchè alcuni corpi immersi nei liquidi si cavino asciutti mentre altri si bagnano. Escono asciutti i solidi se la loro attrazione coi liquidi è minore di quella che i liquidi hanno tra se medesimi; escono in vece bagnati se la prima attrazione supera la seconda. Così immergendo un pezzo di legno nel mercurio, e quindi estraendonelo, all'uscire non trae esso dietro a sè questo liquido col quale ha poca attrazione, ma il mercurio sta unito colla propria massa, lasciando perfino, prima che il legno sia tutto estratto, l'intervallo della fossetta tutto all'intorno. Non così fa questo liquido collo stagno o coll'argento, co' quali ha più attrazione che seco medesimo; estraendoneli, esso gli accompagna, elevandosi accanto alla lor superficie, e rivestendoli d'un velo liquido, il quale vi rimane aderente per avere le sue particelle maggior tendenza a stare unite col solido, che a discendere e a stare unite col rimanente della massa liquida.

Lo stesso è dell'acqua. Questa riguardo alla maggior parte dei corpi ha più attrazione con essi che seco medesima; quindi nel cavarneli li segue, alzandovisi d'intorno, e rivestendoli del velo liquido di cui parla Laplace. Ma con alcuni pochi ella ha minore attrazione che con se stessa, e li lascia uscire asciutti; così fa ella colle piume di alcuni uccelli, colle elitre di diversi insetti, colle sostanze ontuose, co' metalli tersi, ec. Quando questi ne vengono tratti fuori, ella avendovi alquanta attrazione gli accompagna alcun poco e si eleva al di sopra del proprio livello, ma alla fine prevale l'attrazione verso se medesima e oltre ad un certo segno non li segue più.

La polvere di Licopodio possiede a questo riguardo la proprietà, che sparsa sull'acqua permette che vi si

possa tuffare la mano o altro corpo senza che esso si bagni; forma ella una specie di pellicola asciutta che riveste il corpo immerso e lo difende dal contatto dell'acqua.

222. È poi da notarsi nei liquidi anche una certa *inerzia* o difficoltà a muoversi sulle superficie dei solidi; talchè un medesimo liquido al tuffarvi un corpo solido si deprimerà, mentre al levarlo si alzerà accompagnandolo. Così avviene dell'acqua ed anche del mercurio.

Effetti dell'attrazione dei liquidi verso se medesimi.

223. Supponiamo che si abbia una massa liquida *ABCDE* (fig. 34) contenuta p. e. in un tubo orizzontale, la quale dalla parte AB termini con superficie piana e dall'altra CDE con superficie convessa. Se noi la concepiamo distinta in tanti filetti o colonnette fra sè parallele e perpendicolari alla superficie piana, queste dalla parte ove terminano alla convessità saranno attratte verso l'indentro o spinte a muoversi verso la parte piana; giacchè ciascuna sopravanzando alcun poco dal livello delle adjacenti viene dalla loro combinata attrazione sollecitata a ritirarsi al medesimo livello. La forza poi onde sono sollecitate è secondo Laplace tanto maggiore quanto più è piccolo il *raggio di curvatura* della superficie (il raggio cioè di quel cerchio che misura la curvatura nel luogo ove termina la colonnetta liquida presa a considerare); ed è ad altre circostanze pari, in ragione reciproca di questo raggio.

224. Se al contrario la massa liquida termina dall'una banda in superficie piana e dall'altra in superficie concava, come è indicato dalla figura 35, allora i diversi filetti paralleli fra loro e perpendicolari alla superficie piana dei quali essa massa si può concepire

formata, saranno attirati ciascuno da' suoi circonvicini, a uscire in fuori dalla parte concava. Percioc-chè ciascuno, terminando da questo lato al di sotto del livello de' suoi vicini viene da essi sollecitato a venire al livello medesimo. E qui pure si ha tanto maggior forza, quanto minore è il raggio di curvatura, cioè una forza reciprocamente proporzionale a questo raggio.

È poi evidente che il liquido dee rimanere indifferente o in equilibrio, se da ambedue le bande termina con superficie piana.

225. In generale se noi supponiamo che una massa liquida abbia una superficie dove piana, dove concava e dove convessa, e che per un momento ella non sia soggetta all'azione della gravità, ella si troverà sollecitata verso l'interno in tutti i luoghi ove si ha convessità, all'esterno dappertutto ove si ha concavità, e con tanto maggior forza sì nell'un caso che nell'altro quanto minore è il raggio della curvatura; e non vi sarà nè l'una azione nè l'altra ove la superficie è piana, ma il liquido sarà qui puramente passivo, e non prenderà che quei moti, i quali sono una conseguenza delle azioni alle parti concave o convesse.

Vi ha poi fra la tendenza all'infuori e quella all'indentro tale corrispondenza, che ad uguaglianza di curvatura l'una uguaglia l'altra.

226. Oltre poi a questa azione che per l'attrazione molecolare ha luogo nelle superficie concave e convesse, e che suol dirsi *azione capillare* o semplicemente *capillarità*, trova Laplace che ciascun filetto liquido terminato alla superficie, qualunque sia la forma di questa, viene attirato verso l'interno con una poderosa forza; ma essendo queste forze fra loro uguali tutto all'intorno del liquido, non vi producono moto, ma solamente ne tengono unita la massa.

Prendendo le cose nella loro maggiore generalità, Laplace ritrova che chiamata K la forza di cui si è parlato or ora,

ed R, r i due raggi di curvatura massimo e minimo della superficie liquida in un punto qualsivoglia, la forza con cui un filetto liquido terminato in questo punto è attratto verso l'interno, ne' tre casi di superficie piana, di superficie concava, e di superficie convessa, è rispettivamente

$$K,\ K-\tfrac{1}{2}H\left(\tfrac{1}{R}+\tfrac{1}{r}\right),\ K+\tfrac{1}{2}H\left(\tfrac{1}{R}+\tfrac{1}{r}\right)$$

dove la H, a somiglianza della K, è una quantità costante per tutte le forme di superficie che può avere un medesimo liquido, ed è la stessa tanto nel caso della concavità quanto in quello della convessità, ma può variare per la natura del liquido ed anche per la sua temperatura.

Di questa espressione non ha parte nei fenomeni capillari che il secondo termine, cioè la quantità

$$\tfrac{1}{2}H\left(\tfrac{1}{R}+\tfrac{1}{r}\right)$$

la quale per le superficie convesse esprime la grandezza dell'azione traente all'indentro, e per le concave quella dell'azione traente all'infuori.

227. Posti questi principii riuscirà ora facilissimo ad intendersi perchè nei tubi molto sottili l'acqua si elevi al di sopra del naturale livello. Immaginiamo che un sottil tubo AB (fig. 36) di vetro sia immerso verticalmente in una massa d'acqua CGHF. Comincia la pressione o il peso del liquido esterno a farvi entrare dalla estremità inferiore una parte della massa liquida, e la va gradatamente elevando, essendo da sè sufficiente a recarla fino allo stesso livello di fuori. Appena però che il liquido è entrato, per la sua attrazione colle pareti che è maggiore della metà che con se stesso, si eleva esso tutto all'intorno, e prende una superficie concava, colla quale si mantiene fino a tutte le altezze cui viene recato. Da questa concavità risulta una forza tendente a sollevarlo, la quale unendosi colla pressione esteriore lo porta a maggiore altezza che non è l'esteriore livello, cioè fino a tale

altezza che la parte di ciascun filetto superiore a quel livello uguagli in peso l'azione sollevatrice dipendente dalla concavità. Distinguendo in fatti ogni colonnetta sollevata in due parti, l'una al di sopra del livello esteriore e l'altra al di sotto, questa rimane sostenuta dalla pressione della massa esterna, e quella dall'azione capillare. In quanto poi alle colonnette liquide adjacenti alle pareti, per le quali non vale la ragione della concavità, sono esse tenute elevate dall'attrazione delle pareti medesime, e con questo loro elevarsi determinano appunto la concavità della superficie, e lo innalzamento delle colonnette più interne.

Nasce adunque il fenomeno dal concorso delle due attrazioni, e del liquido colle pareti e del liquido con se stesso: dalla prima dipende l'elevazione della parte di liquido che sta adjacente alle pareti e quindi la forma concava della superficie, per la seconda modificata dalla concavità vien determinato l'elevamento del liquido rimanente.

228. Questa elevazione è in ragione reciproca dei diametri dei tubi, scemando i quali come i numeri 1, $1/2$, $1/4$, $1/8$, ec., cresce essa come 1, 2, 4, 8, ec. Ne' tubi molto sottili ciò non è difficile a vedersi; scemano in fatti entro questi i raggi delle concavità presso a poco come i diametri, perciò in ragione reciproca de' diametri debbono crescere le azioni sollevatrici. S'intende però che per tutti i tubi di diverso diametro, il liquido sia sempre il medesimo, si riguardo alla natura che al grado di calore; inoltre, a tutto rigore, nel valutar tali altezze non deesi partire dal punto centrale o infimo della superiore concavità, e nemmeno dal lembo che n'è la parte più elevata, ma da quella superficie orizzontale che si formerebbe quando il liquido, senza variare nel tubo di massa, venisse superiormente a spianarsi.

Egli è poi da avvertire che nell'immergere i tubi nell'acqua giova che prima sieno stati internamente bagnati; senza questa avvertenza quella inerzia di cui si è parlato più sopra impedirebbe la pronta salita.

229. Comportansi in un modo similissimo all'acqua tutti quei liquidi che bagnano il vetro: solamente, come già si è detto al § 214, per un medesimo diametro del tubo un liquido si eleva ad un'altezza, un altro ad un'altra, ciascuno in somma ad una sua propria.

E avverrebbe pure lo stesso fenomeno e con legge somigliante, se in luogo di tubi di vetro se ne usassero di quelli d'altra natura purchè tali da venir bagnati dai liquidi ove s'immergono: anzi vi ha la particolarità, che avendosi più tubi di diversa natura, tutti però atti a venir bagnati, e di uguali diametri, l'acqua si eleva in tutti ugualmente; e così fa l'alcool, così l'olio, ec.

230. Veggiamo ora la ragione, perchè in questi sottili tubi il mercurio rimanga depresso al di sotto dell'esteriore livello. Concepiamo che un tubo di vetro AB (fig. 37) riempiuto di mercurio fino in K e tenuto chiuso inferiormente in B, venga immerso verticalmente in una massa di questo metallo appunto sino in K, e quindi lasciato aperto. Prescindendo dall'attrazione molecolare, il peso della massa liquida interna sarebbe esattamente in equilibrio colla pressione esteriore; e il mercurio nè s'alzerebbe nel tubo nè discenderebbe. Ma essendovi quest'attrazione, ed essendo la sua azione fra il mercurio e il vetro minore della metà che fra mercurio e mercurio, la superficie superiore della massa contenuta nel tubo si deprime tutto all'intorno e si rende convessa, e i filetti liquidi terminati a questa convessità sono sollecitati a discendere. Così la massa suddetta si abbassa, e non si ferma se non allorquando la forza deprimente trovasi uguagliata dalla pressione che corrisponde all'eccesso d'altezza del livello esterno.

Anche qui la depressione è in ragione reciproca dei diametri dei tubi; perciocchè quanto più sottili son questi tubi, tanto minore è il raggio di curvatura della superficie

convessa del mercurio, e quanto minore è il raggio di curvatura della convessità tanto più grande è la forza deprimente; ed avendosi il raggio di curvatura proporzionale al diametro del tubo, e l'azione deprimente reciproca al raggio suddetto, dovrà questa azione essere anche reciproca a un tal diametro.

Fa però d'uopo scuotere leggiermente i tubi, affinchè il mercurio mostri la dovuta depressione; e ciò per l'inerzia già accennata al § 222, la quale fa che il mercurio rimanga indietro o tralasci di discendere, come all'incontro lo tratterrebbe alquanto dal salire in un tubo che si immergesse voto.

231. Della cognizione di questo effetto dell'attrazione molecolare nel mercurio si è fatta una importante applicazione ai barometri. Si è venuti a riconoscere che quando non siano formati con tubi di gran diametro, non può il mercurio dimostrare esattamente la pressione atmosferica, ma rimane qualche poco al di sotto di quell'altezza che a tale pressione dovrebbe corrispondere; perciò nel caso che si avesse bisogno di conoscere questa pressione con grande precisione, come avviene nelle misurazioni barometriche delle altezze, non sarebbero essi degli strumenti abbastanza perfetti. Ma si è rinvenuto il modo di correggere il difetto. Alcuni Fisici e Matematici hanno determinate con grande diligenza le depressioni del mercurio corrispondenti ai diversi diametri dei tubi (*); perciò quando si sappia il diametro del tubo di un dato barometro, per correggerne le indicazioni basterà aggiungere a tutte le altezze segnate dal mercurio quella depressione che a questo diametro corrisponde secondo le osservazioni di questi autori. Si può però fare la correzione una volta per sempre, ponendo alcun poco più bassa la scala che segna le altezze. Ed anche si

(*) Biot, *Traité de Physique*, t. I, p. 90. *Annales de Chim. et de Phys.* t. XXII, p. 331.

può costruire il barometro con un tubo curvato a sifone (fig. 38), dove l'azione capillare, essendo uguale in ambedue le braccia del tubo, si equilibra da sè, e lascia che la differenza di livello misuri esattamente la pressione atmosferica.

232. Tornando alla elevazione dei liquidi che bagnano i tubi, si osserva, come fu già congetturato da Laplace, ch'ella è minore alle alte temperature che alle basse. In una sperienza da me fatta collo spirito di vino mi risultò che una qualità di questo liquido, della gravità specifica 0,86, passando da $+7°$ R a $+55°$ R, s'abbassò in un tubo di $^3/_{25}$ della totale primitiva elevazione.

Di qui trae origine un fenomeno che si osserva nei livelli a bolla d'aria. Se noi avviciniamo un corpo riscaldato sopra il tubo di cristallo lateralmente alla bolla, questa si pone prontamente in moto avvicinandosi al corpo riscaldato; e basta pel fenomeno anche il semplice calore della mano posta a contatto, e quando il tubo del livello non sia ben diafano basta eziandio un raggio solare. Ciò addiviene per la diminuzione dell'azion capillare dell'alcool alla estremità riscaldata della bolla; in conseguenza della qual diminuzione le tendenze che ha il liquido alle due estremità della bolla medesima, di avanzarsi secondo opposte direzioni verso il luogo da essa bolla occupato, non sono più fra loro uguali, ma prevale quella dalla banda più fredda; e così il liquido si avanza da questa, e si ritira dalla contraria. Questo fenomeno, che io credo d'aver notato pel primo, merita di essere avvertito da chi fa uso di un tale strumento, per isfuggire gli errori che ne potrebbero derivare nelle dilicate livellazioni (*).

(*) Può vedersi su questo oggetto una mia memoria inserita nel tomo XX degli Atti della Società Italiana.

Fenomeni diversi analoghi a quelli dei tubi capillari.

233. Se il tubo che si immerge nell'acqua è inclinato o tortuoso, il liquido vi si eleva per una maggiore lunghezza, tanto cioè che la sua superior superficie sia alla medesima altezza come in un tubo verticale di uguale diametro (fig. 39). Ciò, per una compiuta spiegazione, esigerebbe delle cognizioni idrostatiche che presentemente non possiamo chiamare in soccorso. Ci accontenteremo perciò di dire che a sostenere una colonna liquida inclinata fa d'uopo minor forza che a reggerne una verticale delle stesse dimensioni; e che a trattenere nel tubo inclinato AD la colonna liquida BC si esige appena quella forza che è necessaria per la colonna verticale EF avente la medesima altezza verticale.

234. Fra due lamine piane parallele e verticali che sieno distanti l'una dall'altra di un piccolo intervallo, l'acqua si innalza al modo che fa ne' tubi; però appena alla metà altezza che dentro a tubi i quali abbiano quell'intervallo per diametro. La ragione dell'innalzamento è che qui pure la superficie superiore del liquido frapposto è concava, benchè di concavità cilindrica; e che perciò ciascuno filetto liquido è sostenuto in alto da' suoi vicini. Siccome poi questi filetti vicini non gli sopravanzano ugualmente tutto all'intorno, anzi da due bande sono allo stesso livello, così la somma delle loro forze è minore che nei tubi, e il calcolo dimostra ch'ella è la metà.

235. Se le dette lamine, rimanendo ancora verticali, si uniscano da un lato ad angolo, il liquido si eleva maggiormente da quel lato che dall'altro, disponendo la sua superficie libera a modo di iperbola equilatera. Ma di ciò basti citare il fatto, potendosi la spiega-

zione rigorosa vedere nella Fisica di Hauy (*), e in altre opere.

236. Quando le lamine sieno inclinate all'orizzonte, quando esse sieno curve, quando in vece di lamine si ravvicinino de' corpi di qualsivoglia altra forma di superficie, purchè sia grande la loro attrazione coll'acqua, questa continua sempre ad elevarvisi, e tanto più quanto più sono vicini; così avviene fra due sferette, fra due cilindri, fra un cilindro ed una lamina, fra due sottili laminette di qualsivoglia forma, in una moltitudine di piccoli pezzettini di vetro o di altra sostanza che possa venir bagnata. E tutto ciò vale anche per tutti gli altri liquidi che bagnano. Il mercurio all'incontro, seppure i corpi con cui si cimenta, non abbiano con esso molta attrazione, in tutti questi casi rimane depresso.

237. Riempiendo un tubo di vetro con della cenere stacciata e calcata, e quindi mettendo la sua inferiore estremità in un recipiente ove si trovi dell'acqua, si osserva che questa a poco a poco vi si innalza, e in capo a qualche giorno o a qualche settimana arriva all'altezza di più piedi. La cagione del fenomeno è qui pure l'azione capillare; perocchè lasciando la cenere molti intervalli comunicanti fra loro per tutta la lunghezza del tubo, ed essendo questi strettissimi benchè di forma irregolare, infine avendo la cenere forte attrazione coll'acqua da cui può venire bagnata, questo liquido vi si va elevando come farebbe frammezzo a lamine vicinissime di forma irregolare o frammezzo a piccoli pezzettini di vetro.

238. Dalla stessa cagione procede l'imbeversi di acqua che fanno molti corpi, quando ne sia stata tuffata una estremità. Essi il fanno perchè porosi e dotati di molta attrazione coll'acqua.

239. Quando su di un foglio di carta sugante viene

(*) T. 1, § 364.

a cadere una goccia o d'acqua o d'olio o d'altro liquido, è noto che questo vi si spande in una larga macchia. E ciò deriva similmente dall'essere quella carta porosa e dall'avere molta attrazione verso quel liquido. Penetrato questo nelle boccucce dei pori, l'attrazione che ha colla carta determina la sua superficie entro a ciascun poro a divenir concava, e a cagione della concavità il liquido attrae se stesso e procede innanzi. Se il liquido si estende sulla carta all'insù, la gravità pone finalmente un termine all'estendimento; se il liquido è evaporabile, l'evaporazione vi pone termine anche pel verso orizzontale o discendente; talvolta esso liquido si tiene in piccolo spazio a cagione della poca massa che presto è esaurita.

Dopo asciugato il liquore sparso, rimane molte volte un orlo oscuro. Questo sembra formato da materia che stava o disciolta o sospesa nel liquido, e che venne depositata nella evaporazione di esso. Nel luogo di quell'orlo oscuro cessava il liquido di avanzarsi venendo consumato dall'asciugamento, deponeva ivi allo stato solido quella sostanza, e veniva supplito da nuovo liquore carico della sostanza stessa, il quale si comportava in un modo simile.

Non si sparge il mercurio, perchè avendo colla carta sugante poca attrazione, pochissimo s'insinua ne' suoi pori; ma appena presentatovisi, subito si rende in que' luoghi convessa la sua superficie, e per la propria attrazione viene trattenuto indietro.

240. L'olio si eleva ne' lucignoli delle lampade, perchè gl' intervalli fra i fili di cotone fanno le veci di tanti tubi capillari in cui il liquido si innalza, accorrendone continuamente del nuovo a proporzione che si consuma alla estremità superiore.

Altri fenomeni dipendenti dai medesimi principii.

241. Le goccie dei liquidi quando fossero senza peso e stessero sospese in mezzo all'aria, avrebbero una forma perfettissimamente sferica. Perocchè se elle avessero forma diversa (come avverrebbe liquefacendosi istantaneamente un pezzetto di ghiaccio), ne' luoghi incavati il liquido tenderebbe all'infuori, e nelle prominenze all'indentro, e ciò con maggior forza dove le prominenze o le cavità fossero più risentite, con minor forza ove il fossero meno. Per la quale combinazione di forze ridurrebbesi la massa ad una forma sferica; e questa, conseguita che fosse una volta, verrebbe conservata, equilibrandosi allora tutte le tendenze verso l'interno della massa.

Questa sfericità però non ha luogo in natura che imperfettamente. Parlando delle gocce cadenti, queste provano una leggiera resistenza dall'aria, la quale le rinturza e le spiana alcun poco alla superficie inferiore; ma ciò nelle piccole gocce è cosa insensibile, e non se ne riconosce nessun effetto nella forma dell'iride, la quale ci presenta un arco circolare sensibilmente perfetto, in grazia appunto dell'essere le gocce della pioggia quasi esattamente sferiche. Soltanto qualche rara fiata sonosi vedute delle iridi deformate, e ciò secondo ogni apparenza, per essere allora le gocce state assai grosse ed alterate di forma dalla resistenza dell'aria (*).

242. Le goccie posate su qualche corpo, pel loro peso si spianano alcun poco, allargandosi e deprimendosi, e nel luogo del contatto adattandosi alla super-

(*) V. *Commentarii sopra la Storia e le Teorie dell'Ottica* del cav. Giambattista Venturi. Bologna, 1814, Memoria III, art. 2

ficie del corpo; il che apparisce maggiormente nelle goccie più grandi.

Quelle che stanno appese al di sotto di qualche corpo mostrano superficie convessa nella parte infima, concava nella suprema (fig. 40); donde nascono due forze cooperanti a sostenere la massa liquida, cioè una forza traente all'indentro nella parte inferiore, e una forza traente all'infuori nella superiore. Ciò si osserva anche nelle goccie attaccate a qualche parete verticale; dove si veggono conformate a modo di lagrima, convesse inferiormente, concave superiormente (fig. 41).

243. Versando una piccola massa di mercurio sopra un piano di marmo, ella si spande in una larga falda. Non si allarga però nè si assottiglia indefinitamente; chè ciò è impedito dall'attrazione. Questa forza in fatti, operando specialmente negli orli dove è più sensibile la convessità della superficie, spinge quivi il liquido verso la parte centrale, e resiste al suo peso che tenderebbe ad allargarlo. Anzi se noi aggravassimo la massa liquida di un peso e la schiacciassimo, dopo tolto questo ella tornerebbe a raccogliersi nel primitivo spazio, cioè andrebbe restringendosi fino a quel segno, dove l'azione capillare successivamente decrescente venisse equilibrata dalla contraria e gradatamente crescente azione del proprio peso di essa.

244. Sui corpi ontuosi, e sui metalli forbiti, in generale sui corpi che non si bagnano, le goccie d'acqua non si espandono, ma stanno in sè raccolte; e ciò evidentemente per la debolezza dell'attrazione fra l'una sostanza e l'altra, a paragone dell'attrazione del liquido con se stesso, debolezza che esige un angolo poco ottuso od anche acuto fra la superficie della goccia e quella del corpo che la sostiene (§ 220).

245. Prendendo un tubo conico rigonfiato nel mezzo e terminato assai sottilmente dall'una delle estremità, e riempiendolo d'acqua, e quindi rivolgendone la punta

verso l'alto, esso si terrà pieno malgrado che si trovi aperto da ambedue le bande (fig. 42). Si spiega questo per mezzo delle azioni capillari che hanno luogo alle due superficie libere del liquido, e delle quali è molto maggiore quella dalla parte più sottile del tubo.

Se invece lo strumentino si riempia di mercurio, esso potrà ancora mostrare il medesimo fenomeno, ma però tenuto colla punta all' ingiù. Rimane sostenuta in questo caso la massa liquida a cagione della convessità di pictolissimo raggio con cui essa termina inferiormente (fig. 43).

246. Per la medesima ragione si può facilmente tenere una massa anche considerevole di mercurio entro uno staccio, senza che ne esca fuori. Siccome il mercurio ha poca attrazione coi fili dello staccio, a paragone di quella che egli ha con se stesso, così inoltratosi alcun poco in quei fori, vi forma tante piccole convessità; e fra i diversi filetti verticali di cui possiamo immaginare composta la sua massa, ciascuno di quelli terminati a queste convessità vien sostenuto dai laterali che l'attirano verso l'alto, e quegli altri che terminano sulle fila dello staccio, s' appoggiano a queste e ne vengono sostenuti.

247. Ma singolare è il fenomeno del portar acqua fra due stacci. Conviene unirne due insieme l'uno fitto e l'altro raro, facendo che la commessura non lasci passar acqua; indi porli entro una massa d' acqua volgendo di sotto quello fitto perchè più facilmente l'acqua ne riempia lo spazio di mezzo; infine rivolgere di sotto il raro, e sollevarli fuori del liquido, coll'avvertenza di tenerli ben orizzontali. Si vedrà che il liquido contenuto frammezzo non uscirà.

Per intenderne la ragione basterà riflettere che questa massa liquida contenuta termina superiormente in tante superficie concave coi lembi appoggiati ai fili dello staccio più fitto, e in vece al di sotto ha una superficie o piana o con delle concavità poco sensibili; epperò

immaginandola formata di tanti filetti verticali, questi rimangono sostenuti in conseguenza delle concavità superiori, come nel caso della fig. 42.

Il fenomeno ha luogo anche quando vi sia qualche bolla d'aria sotto allo staccio più fitto, e ciò perchè difficilmente l'aria esteriore può farsi strada attraverso questo staccio per aumentare la bolla; e questa difficoltà è prodotta similmente dall'azione capillare, come è facile a persuadersi riflettendo che l'acqua che occupa e chiude i forellini e separa le due arie, presenta superficie concave di piccolissimo raggio all'aria esteriore che tenta d'entrare.

248. Quando esce una vena liquida da un piccol foro formato in una parete verticale, il quale sia più largo nel verso orizzontale che nel verso verticale, essa vena non conserva che per breve tratto la forma della bocca; giacchè avanzandosi alcun poco muta il verso dello schiacciamento, e diviene compressa verticalmente; più innanzi ancora però torna a divenire compressa orizzontalmente; e così fa alternativamente più volte di seguito, fino a che questi mutamenti non vengono interrotti dal separarsi della vena in gocce. Dalla forma che questo getto presenta, simile a quella di più anelli consecutivi di una catena, io il chiamerei *getto cateniforme;* e questa forma deriva a mio giudicio da un giuoco dell'azione capillare: ma per una circostanziata spiegazione io rimanderò i lettori ad una mia memoria inserita nel Giornale di Fisica di Pavia (*).

249. L'aria rinchiusa nelle bolle di sapone vi si trova leggiermente compressa, ed esce dai cannelli che la pongono in comunicazione coll'aria esterna. Ciò spiegasi coll'osservare, che il velo acqueo il quale cinge quell'aria, può concepirsi formato di tanti filetti liquidi, simili ad altrettanti brevissimi tronchi di piramide, e posti nelle direzioni di tanti raggi condotti dal centro

(*) Tomo XII, anno 1819, bimestre III.

della bolla, i quali filetti sono tratti verso questo centro sì per l'azione della convessità esteriore che per quella della concavità interna.

250. Immergendo nell'acqua un tubo capillare per una sua estremità, e lasciando che essa vi salga fino a tutta l'altezza a cui può arrivare, e quindi estraendolo, si osserva che con ciò l'acqua si eleva internamente ad una maggiore altezza che prima. E ciò perchè la massa liquida interna viene ad essere sostenuta non solo dalla sua concavità superiore, ma anche dalla convessità della goccia esteriore che pende dal tubo.

251. Si ponga una goccia d'acqua o meglio di alcool frammezzo a due lamine di vetro ravvicinate e inclinate e in alto congiunte ad angolo, talchè la loro sezione sia quale viene indicata dalla fig. 44; quando sia poca la loro inclinazione coll'orizzonte, la goccia camminerà verso l'alto. E ciò in conseguenza del minor raggio di curvatura che la goccia ha alla concavità superiore rispetto alla inferiore.

252. Due lamine di vetro ravvicinate, frammezzo a cui siasi sollevato un liquido, si attraggono fortemente l'una coll'altra, sebbene prima che il liquido vi salisse non mostrassero attrazione sensibile. Di questo fenomeno però può vedersi la spiegazione nelle opere che trattano più diffusamente dell'azione capillare (*); noi la ommettiamo insieme a quella del seguente, essendo entrambe alquanto complicate.

253. Due piccoli corpi, galleggianti sulla superficie di un liquido e posti in vicinanza l'uno dell'altro, se entrambi vengono bagnati dal liquido si attraggono a vicenda; si attraggono pure se entrambi non si bagnano, ma si respingono se l'un d'essi viene bagnato e l'altro no.

254. Incontrandosi un getto liquido in un corpo cilindrico cui possa bagnare, perde la primitiva dire-

(*) Haüy, *Physique*, t. I, p. 243.

zione, e si ripiega alquanto come per abbracciarlo; e ciò perchè in grazia dell'attrazione trova certa difficoltà a staccarsene mentre s'avanza (1). Per la ragione medesima se un liquido esce lentamente dalla estremità più sottile di una canna conica orizzontale, le si ripiega al di sotto.

255. Riempiendo di acqua un vaso di vetro, il cui orlo sia bene orizzontale, noi possiamo darvi il colmo senza che se ne versi. Dipende questo fatto da quella difficoltà che l'acqua incontra a scendere giù pel vetro asciutto; onde essa si ritiene indietro e si ripiega tutto all'intorno del vaso in superficie convessa, e per questa convessità l'azione capillare ritiene la massa liquida che forma il colmo, dallo espandersi ad onta del suo peso.

Dell'Endosmosi e dell'Esosmosi.

256. Furono recentemente scoperti dal sig. Dutrochet alcuni singolari fenomeni, da lui appellati l'*Endosmosi*, e l'*Esosmosi*, i quali hanno molta relazione coi fenomeni capillari, e sembrano avere una parte molto importante nell'economia della natura organizzata. Ecco in qual cosa essi consistono (2).

Abbiasi un tubo di vetro (fig. 45) unito inferiormente al collo di un imbuto rovesciato pur di vetro, il quale sotto l'allargamento abbia stesa una membrana animale fortemente allacciata all'orlo; si avrà con ciò uno strumento che dal sig. Dutrochet viene chiamato un *Endosmometro*. Se ora questo strumento si riempie di una soluzione molto densa di zucchero sino ad una certa altezza nel tubo, e quindi si immerge nell'acqua

(1) Morosi, nelle Memorie dell'Istituto del Regno Lombardo-Veneto, t. I (Milano, 1819), p. 313.

(2) Vedi le *Nouvelles recherches sur l'Endosmose et l'Exosmose*, ec., par M. Dutrochet, Paris, 1828, chez Baillière.

pura fino ad una tale profondità che le due pressioni sulle superficie interna ed esterna della membrana si facciano vicendevolmente equilibrio, vedrassi che a poco a poco quest' acqua vi entrerà attraversando la membrana, e facendo gradatamente elevare il livello del liquido contenuto, ed anche facendo versar questo fuori dalla bocca superiore allorquando l'innalzamento sia arrivato a quest' altezza. Questo è ciò che dal sig. Dutrochet si appella l'*Endosmosi*.

Se in vece noi riempiamo lo strumento di acqua pura, e lo immergiamo in una soluzione di zucchero sino a una tale profondità che le due pressioni si equilibrino, vedremo l'acqua abbassarsi nello strumento ed uscire attraverso alla membrana per andare a mescersi colla soluzione che si trova di fuori: e ciò è quello che si appella l'*Esosmosi*. In generale l'acqua passa attraverso alla membrana per venire a mescersi colla soluzione di zucchero, sia che ella debba entrare a questo oggetto nello strumento, sia ch'ella debba uscirne. Osserva però il sig. Dutrochet che allorquando si effettua l'Endosmosi, succede altresì contemporaneamente un debole effetto di esosmosi, vale a dire che mentre entra un' abbondante quantità di acqua nello strumento, esce altresì una piccola dose di soluzione: ma questo secondo effetto è assai meno sensibile del primo, talchè le apparenze son quelle dovute all'Endosmosi. Similmente allorchè si effettua l'esosmosi, ha luogo contemporaneamente una leggiera e poco riconoscibile endosmosi.

Ha trovato il sig. Dutrochet esservi molti altri liquidi i quali si comportano allo stesso modo della soluzione di zucchero: tali sono l'alcool, la soluzione di gomma arabica, la soluzione di sal comune, e in breve la maggior parte dei liquidi diversi dall'acqua. Qualsivoglia di questi liquidi posto dentro allo strumento, determina l'acqua pura in mezzo a cui esso strumento sia collocato a penetrare attraverso alla

membrana. E il fenomeno succede anche allorquando vi sia una soluzione dentro allo strumento ed un' altra fuori. In tal caso se le soluzioni sono della stessa natura e diverse soltanto nella densità, il trapassamento del liquido attraverso alla membrana animale si effettua verso la banda ove la soluzione è più densa, vale a dire ove si contiene maggior proporzione della sostanza sciolta.

257. In quanto alla causa del fenomeno, il sig. Dutrochet non è ancora ben pago di veruna spiegazione (1). Propende egli nulladimeno a pensare ch'esso possa essere l'effetto di una corrente elettrica, a quel modo che si è trovato che una corrente di tal natura può far passare l'acqua attraverso ad un diaframma formato d'una membrana animale. Ma fa altresì parola di un'altra spiegazione (2), la quale in vero a lui non par molto probabile, ma che pure noi troviamo assai plausibile, e che consiste nel far dipendere un tale passaggio dalla vicendevole attrazione dei due liquidi, e dal potere uno solo di essi attraversare la membrana. L'acqua pura imbeve facilmente i pori di questa, e passa dall'una delle sue superficie alla superficie opposta; quivi viene attratta o dallo zucchero o da quell'altra sostanza sciolta che ivi si trova e si disperde attraverso alle sue particelle; intanto attraverso alla membrana arriva dell'altra acqua, la quale si comporta anch'essa allo stesso modo, e così via via. Il fenomeno si potrebbe paragonare con quello di un tubo di vetro ripieno di cenere, il quale si chiudesse inferiormente con un pezzo di pannolino, e quindi si immergesse colla estremità inferiore nell'acqua.

Questa ipotesi spiegherebbe ancora facilmente perchè avendosi dalle due opposte bande della membrana

(1) *Nouvelles recherches sur l'Endosmose*, ec., p. 32.
(2) *Ibid.* p. 52.

animale due soluzioni di diversa densità, il passaggio si effettui verso la più densa; nascerebbe questo dall'avere quest'ultima soluzione una maggiore attrazione verso l'acqua che non ne ha l'altra. E per dar ragione del debole passaggio contemporaneo del liquido più denso verso il più raro, basterebbe ammettere che la membrana non sia già assolutamente impermeabile a un tale liquido più denso, ma che sia solamente di difficile permeabilità.

258. Oltre alle sperienze fondamentali colle quali il sig. Dutrochet cercò di stabilire la realtà del fatto, egli ne istituì altresì molte altre per istudiarne le diverse particolarità.

Variò egli in molti modi la natura dei liquidi; e dall'esame ch'ei ne fece venne a conchiudere che queste sostanze possono dividersi in tre diverse classi.

Riconobbe in primo luogo che vi sono dei liquidi costantemente *attivi*, cioè tali che collocati nello strumento vi determinano l'endosmosi senza interruzione, fino a che non vengano alterati in qualche guisa nella loro composizione. Tali sono le già dette soluzioni di zucchero e di gomma arabica, quelle di gelatina, di albumina, in genere i diversi liquidi organici nel loro stato sano.

Trovò in secondo luogo esservi dei liquidi costantemente *inattivi*. Tali sono quei che contengono dell'acido solforico o dell'idrogeno sulfurato; tali sono pure le materie fecali, e i fluidi animali che hanno sofferto alterazione, forse perchè sì gli uni che le altre contengono dell'idrogeno sulfurato. Questi liquidi inattivi poi non solo non presentano il fenomeno, ma eziandio il fanno sospendere quando esso è già incamminato, sia che si pongano dalla banda verso cui si dirige l'afflusso, sia che si pongano dalla banda contraria; talchè cotali liquidi inattivi si potrebbero anche chiamare *sedativi* dell'endosmosi. Oltre a ciò essi comunicano alla membrana una incapacità di potere

in seguito produrre il fenomeno anche cimentata con de' liquidi attivi, la quale incapacità però cessa dopo alcune lavature.

V'ha in fine una terza classe di liquidi, i quali in sulle prime accrescono l'attività dell'endosmosi, ma in seguito, quasi avessero affaticato lo strumento, la fanno indebolire: tali sono l'alcool, le soluzioni saline e le alcaline, gli acidi nitrico, muriatico, in genere gli acidi diversi dal solforico e dall'idrosolforico.

259. Variò il medesimo la natura de' solidi attraverso a cui si opera il fenomeno. Trovò *attive* tutte le membrane animali e vegetabili, ma rinvenne tali alcune soltanto delle sostanze inorganiche porose. Trovansi in questo caso le lamine di lavagna, e in generale le sostanze argillose. Il carbonato di calce in vece e il solfato di calce non presentano il fenomeno di cui si tratta, ma mostrano semplicemente i comuni fenomeni capillari.

260. Fece egli varie sperienze sulla velocità dell'endosmosi; e trovò che facendo uso di una medesima membrana, e cimentando coll'acqua più soluzioni acquee di una medesima sostanza, la velocità di cui si parla è proporzionale alla differenza di densità fra queste soluzioni e l'acqua pura. Tre soluzioni di zucchero delle densità 1,044; 1,070; 1,139 mostrarono rispettivamente le velocità 10 ¼, 17, 32 ½, le quali sono presso a poco nella ragione dei numeri 0,044; 0,070; 0,139.

Misurò eziandio la forza dell'endosmosi. Fece uso a questo oggetto di un endosmometro colla parte tubulare ripiegata e contenente del mercurio, il quale doveva venire sollevato in alto dal liquido che entrava per endosmosi. Lasciava operar l'endosmosi e salire il mercurio sino a che questo cessava di alzarsi, ed osservava fino a che punto era salito; quindi esaminava qual fosse la densità del liquido al momento che aveva cessato l'innalzamento, e prendeva la dif-

ferenza delle pressioni operate sulle due opposte superficie della membrana, per misura della forza d'endosmosi corrispondente alla densità finale del liquido. Trovò che anche questa forza è proporzionale alla differenza di densità fra l'acqua pura e le diverse soluzioni acquee di una medesima sostanza. Per esempio tre soluzioni di zucchero che avevano le densità finali 1,025; 1,053; 1,110 ebbero delle forze di endosmosi misurate rispettivamente dalle pressioni di 0^{metri},286 di mercurio, di 0^{m},606, di 1^{m},258.

Le sperienze però più importanti che l'autore fece su questo proposito, sono quelle con cui esso cercò di spiegare per mezzo dell'endosmosi diversi fenomeni fisiologici che presentano i vegetabili; p. e. il fenomeno del rivolgersi all'alto il tronco e al basso le radici, il fenomeno dell'irritabilità della balsamina, quello dell'irritabilità della sensitiva, ec. Noi non possiamo entrare in queste particolarità che sono estranee alla nostra scienza: soltanto diremo che esaminando diligentemente cotali spiegazioni, si trovano assai ingegnose e dotate di molta probabilità.

Effetti dell'attrazione molecolare sui fluidi aeriformi.

261. Le molecole di un fluido aeriforme non hanno fra se stesse veruna attrazione, anzi si respingono l'una coll'altra. Ma possono in vece venir attratte da un corpo solido o da un liquido, come può scorgersi dai seguenti esempii.

262. Il carbone se cavato appena dal fuoco si pone entro una sostanza aeriforme, ne assorbe una grande quantità, attirandola entro a' suoi pori e condensandola. La quantità della sostanza assorbita varia secondo la di lei natura; notabile è quella del vapore acqueo, e quella dell'acido carbonico. In generale poi

ogni corpo poroso assorbe e condensa una più o meno grande quantità di qualsivoglia gas (1).

263. L'aria comune, l'ossigeno, l'idrogeno, e in ispecie l'acido carbonico, stando per qualche tempo in contatto coll'acqua, vengono assorbiti entro i di lei pori. Maggiore quantità ne viene assorbita alle basse temperature e sotto le forti pressioni atmosferiche; ed all'incontro tali sostanze si sviluppano alle alte temperature e alle deboli pressioni; l'una in fatti di queste cause aumenta la forza espansiva de' fluidi aeriformi, e l'altra ne favorisce l'espansione, e così si oppongono entrambe all'attrazione del liquido che tende a ritenerli.

264. Appoggiandosi a questi e ad altri esempii, attribuiscono alcuni la chimica unione di alcune sostanze aeriformi in contatto de' metalli finamente divisi, alla condensazione di esse sulle superficie di questi ultimi; p. e. essi spiegano l'infiammazione dell'idrogeno sul platino spugnoso scoperta da Doeberreiner, coll'ammettere che prima l'ossigeno atmosferico e quindi questo idrogeno si condensino sulla superficie del platino, e ravvicinino così le loro molecole in guisa da potere facilmente entrare in chimica unione (2), col favore altresì del calore prodotto da questa condensazione.

265. Un grandissimo numero di corpi assorbe l'umidità atmosferica, ricevendola entro ai pori se sono porosi, o semplicemente condensandola alla superficie se compatti. Tali sono una gran parte delle sostanze minerali, i metalli, p. e., il vetro, l'argilla, molti sali, molti acidi: il muriato di soda o sal comune ne' tempi umidi si trova bagnato, il muriato di calce deacquificato è avidissimo del vapore acqueo, e serve a diseccare l'aria chiusa in qualche recipiente; allo stesso oggetto serve

(1) Thénard, *Chimie*, 1821, t. I, p. 172. *Bibliothèque Britannique*, Avril, Mai, Juin, 1812.

(2) Bellani, nel *Giorn. di Fis. di Pavia*, anno 1824, bim. II. Liebig, negli *Ann. de Chim. et de Phys.* t. XLII, p. 326.

e ancor meglio l'acido solforico concentratissimo. Tutte poi le sostanze d'origine animale o vegetale trovansi più o meno in questo caso, i legni, le ossa, i capelli specialmente se bolliti nella lisciva, la carta pergamena, la carta comune, i fili di canape, l'epidermide che ricopre le parti esterne ed interne degli animali, ec. Ma di ciò parleremo più diffusamente in altro luogo.

CAPO XI.

DELLE AFFINITÀ CHIMICHE

266. Si chiamano *Affinità Chimiche* quelle vicendevoli ed elettive attrazioni che esistono fra le varie sostanze, in virtù delle quali queste sostanze vengono determinate a comporsi insieme. Esse riguardansi da alcuni quali modificazioni dell'attrazione molecolare; sembra però che acquisti forza l'opinione di coloro che le fanno dipendere dall'Elettricità. Comunque sia, consistono anch'esse in attrazioni fra le minime molecole de' corpi, operanti a piccolissime distanze, in modo analogo all'attrazione molecolare.

Deriva da esse un grandissimo numero di fenomeni, vale a dire tutti quelli che formano l'oggetto della Chimica. Inoltre si possono loro riferire alcuni fenomeni spettanti più specialmente alla Fisica e de' quali si è già parlato; p. e. l'aderire che fa l'acqua più volentieri ai legni che non ai metalli tersi ed ai corpi ontuosi, e che fa il mercurio piuttosto allo stagno ed all'oro anzi che al ferro ed ai legni; il deporsi più facilmente l'umidità dell'aria su alcune qualità di corpi che su altre. Ma di questo basti quanto si è già detto precedentemente. Faremo ora qualche cenno di quelli che più propriamente appartengono alla Chimica, giacchè una qualche cognizione di essi è necessaria anche ad un Fisico.

I Fenomeni che i corpi presentano allorquando obbediscono alle Affinità Chimiche, o quando ad esse si sottraggono, possono ridursi a quattro classi, alle *Soluzioni* cioè, alle *Precipitazioni*, alle *Combinazioni*, e alle *Decomposizioni*.

Delle Soluzioni.

267. Dicesi *Soluzione* lo sciogliersi e il diffondersi che fanno alcune sostanze poste in certi liquidi, p. e. il sal comune o muriato di soda nell'acqua. Si ascrive all' attrazione del liquido verso la sostanza postavi a sciogliere, in forza di cui le particelle più superficiali di questa vengano successivamente staccate e portate in mezzo a quelle della massa liquida.

Oltre al sal comune scioglie l' acqua molti altri sali, p. e. il sal nitro o *nitrato di potassa*, il sale ammoniaco o *muriato d' ammoniaca*, il vitriolo di ferro o *solfato di ferro*, il vitriolo di rame o *solfato di rame*, ec., ed oltre ai sali scioglie molte altre sostanze, p. e. la calce, lo zucchero, ec.

268. Una data quantità di acqua a un determinato grado di calore non può di un dato sale o di un'altra data sostanza tenere disciolta che una determinata quantità; p. e. di sal comune non può tenere sciolto alle ordinarie temperature che circa un terzo del proprio peso. Se vi si aggiunge altro sale della stessa natura, questo rimane allo stato solido; e similmente s'ella viene in parte ad evaporare, una corrispondente quantità del sale ritorna allo stato solido, come già si disse parlando della cristallizzazione. Quest' acqua poi che tiene in sè disciolta la massima quantità possibile di un sale, si dice *satura* di esso sale. Ella è però una cosa degna d' esser notata che una massa d' acqua che sia satura d' un dato sale può ancora sciogliere una porzione di un altro sale diverso senza che il primo riprenda minimamente lo stato solido.

269. Sonovi alcune circostanze che possono far variare la facoltà solvente dell'acqua. Una di esse si è il calore; in generale la stessa dose di acqua suole sciogliere di una data sostanza maggiore quantità a caldo che a freddo; così avviene a cagion d'esempio del muriato di calce. Vi ha però qualche eccezione, essendovi sostanze più solubili a freddo che a caldo; tale è la calce. Il solfato di soda si comporta a questo riguardo in un modo singolare; la sua solubilità nell'acqua si aumenta colle temperature fino a +33°C., dopo questo punto diminuisce fino a +103°,17, temperatura che all'ordinaria pressione dell'atmosfera fa bollire la soluzione.

Questi due contrarii effetti del calore si spiegano entrambi per mezzo della facoltà che esso possiede di indebolire ogni sorta di attrazione, vale a dire tanto l'attrazione di aggregazione fra le molecole della sostanza posta a sciogliere, quanto l'attrazione chimica fra queste molecole e il liquido solvente. Avviene talora che la prima di queste due attrazioni viene dal calore diminuita più fortemente della seconda, e allora s'aumenta la solubilità; talora in vece succede maggior diminuzione nella seconda cioè nell'affinità chimica, e in questo caso la solubilità diminuisce.

270. Un'altra circostanza si è l'essere l'acqua già imbevuta di qualche altra sostanza. Così l'acido carbonico comunica all'acqua la facoltà di sciogliere il carbonato di calce.

271. Possiamo riferire alle soluzioni nell'acqua lo sciogliersi e il mescersi che fanno con questa sostanza diversi altri liquidi, p. e. l'alcool, l'acido solforico, ec.

272. Oltre all'acqua che è il *gran solvente* della natura, sonovi molti altri liquidi che possono sciogliere diverse sostanze. L'alcool scioglie molti sali, gli olii, le resine, ec. Il mercurio scioglie la maggior parte de' metalli, l'oro, l'argento, lo stagno, il piombo, ec.,

formando quelle leghe che si appellano *amalgame;* i più fusibili sono quelli che più facilmente vi si sciolgono; fra gli insolubili s' annovera il ferro. L' amalgama di stagno serve a fabbricare gli specchii.

Diversi fenomeni dipendenti dalla facoltà solvente dell' acqua.

273. Fra i numerosi fenomeni naturali che traggono origine dalla grande facoltà solvente che ha l' acqua, noi citeremo primieramente la salsedine di molte acque. L' acqua del mare, oltre a diversi altri sali, contiene circa $1/40$ in peso di sal comune. Salse sogliono altresì essere le acque dei laghi senza sbocco, p. e. le acque pesantissime del *Mar morto* in Siria e del lago di Urmia in Persia, quelle del mar Caspio, e di alcuni altri laghi dell' Asia e dell' America Meridionale. Contengono sal comune anche le acque di molte sorgenti; e ciò probabilmente pel loro passaggio da luoghi ove esistono ammassi naturali di questo sale.

274. Sonovi molte sorgenti dette di *acque minerali,* le quali tengono sciolte parecchie sostanze specialmente saline, quali sono il sal comune, il solfato di soda, il solfato di magnesia o sale amaro, ec. Le acque di molti de' nostri pozzi sono poco salubri pel solfato e pel carbonato di calce che tengono in soluzione.

275. Sonovi delle sorgenti che tengono sciolta perfino della silice, la quale è una sostanza delle più insolubili; tale è la sorgente di Carlsbad in Boemia, e più ancora quella di Geyser in Islanda; e n'abbiamo di tali noi pure in Italia, alla Solfatara p. e., e all' Isola d'Ischia. Per ispiegare come ciò possa essere, si ammette che la silice si sia sciolta a temperature molto elevate, e forse coll' ajuto di qualche solvente, quale potrebbe essere la potassa; e che sciolta una volta

questa silice nell' acqua possa rimanere allo stato di soluzione anche a temperature assai più basse; alle quali per la sua forte attrazione di aggregazione non potrebbe più sciogliersi se fosse concreta. Sogliono in fatti queste sorgenti essere assai calde; quella di Carlsbad è a $+74^{\circ}$C., quella di Geyser è bollente. Quest' ultima poi presenta il magnifico e sorprendente fenomeno di un getto intermittente talora elevatissimo, prodotto a tutte le apparenze dalla forza espansiva del vapore acqueo che si forma pel calore de' fuochi sotterranei (1).

276. Passando le acque per le fessure delle montagne calcaree, di quelle cioè formate di solfato o di carbonato di calce, possono coll'andare dei secoli sciogliere e corrodere una parte di queste sostanze, ed aprire delle vastissime caverne. Il solfato di calce in fatti è leggiermente solubile nell'acqua anche pura; e il carbonato vi si può sciogliere quando essa sia di già imbevuta, come si è detto, di gas acido carbonico.

Di tali caverne se ne trovano effettivamente in varii luoghi, e molte di esse sono interessantissime pe' Naturalisti, non tanto per le bizzarre loro forme e per le curiose stalattiti e stalagmiti che vi si veggono, quanto pei residui che vi si conservano di ossa animali. Noi citeremo fra le altre quella di Antiparos nell' Arcipelago Greco, quella di Kirkdale in Yorkshire nell' Inghilterra (2), quella di Adelsberg presso Trieste, quella dei *Guacharos* presso Cumana in America (3). Ne abbiamo vicina una presso Casteggio in Piemonte, la quale vien chiamata la *Camerà*, ed è

(1) Si può vedere la figura di questo getto nel *Journal des Mines*, t. XXXI. Se ne trova eziandio una breve descrizione nella Geognosia di Daubuisson, t. I, p. 191.

(2) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXII, p. 305.

(3) Daubuisson, *Géognosie*, t. II, p. 379.

scavata in una collina gessosa poco lungi dal piccolo villaggio di Mairano (*).

Delle Precipitazioni e delle Concrezioni.

277. Chiamansi *Precipitazioni* que' fenomeni nei quali una sostanza che trovavasi sciolta in un liquido, perde lo stato suo di soluzione e si separa dal liquido stesso, deponendosi per lo più al fondo in istato di polvere solida. Sono esse l'opposto delle soluzioni, ed hanno luogo quando la sostanza sciolta per una qualsivoglia cagione divien dotata di maggiore attrazione verso se medesima che col liquido in cui si trova diffusa. Le sue molecole, prima disperse ed invisibili, si uniscono allora insieme formando delle piccolissime masse opache che rendono torbido il liquido e talora gelatinoso, e quindi dopo rimaste alcun tempo sospese cadono lentamente a fondo per la loro specifica gravità.

Ne abbiamo un esempio nell'acqua di calce ove si faccia gorgogliare dell'acido carbonico. Sulle prime, combinandosi questo gas colla calce e formando del carbonato di calce che è insolubile, si ha intorbidamento e quindi precipitazione. Seguitando però a farvi gorgogliare altro gas, il carbonato torna a sciogliersi (§ 270), e l'acqua si rischiara.

278. Un altro esempio molto singolare si ha mescolando due soluzioni sature, l'una di carbonato di potassa, e l'altra di muriato di calce, nella proporzione all'incirca di 4 a 3. Da due sostanze liquide al pari dell'acqua nasce una densa massa, molle sì ma ben lontana dall'esser liquida. Ciò proviene dal decomporsi i due sali, e dall'unirsi i loro componenti

(*) Breislak, *Descrizione Geologica della provincia di Milano*, p. 235.

Una succinta descrizione delle più famose caverne si può vedere nel Gehler's *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet* all'articolo *Höhle*.

in un' altra maniera dando origine a due nuovi sali, l'uno insolubile che è il carbonato di calce, e l'altro non molto solubile che è il muriato di potassa.

Quel divenire gelatinoso o fioccoso che fa il liquido in queste e in altre precipitazioni, si potrebbe attribuire a ciò, che le molecole le quali si uniscono insieme per passare allo stato solido, vengono a formare come un tessuto reticolare, il quale colle sue finissime e numerosissime fila inceppa i liberi moti delle parti dell'acqua e le toglie la liquidità.

Citeremo per un ultimo esempio il coagularsi del latte, che si può riguardare come una precipitazione della sostanza caseosa.

279. Soventi volte le molecole che si trovano sciolte in un liquido, si uniscono le une alle altre in una massa solida che va gradatamente crescendo: si hanno allora le così dette *concrezioni;* e se le molecole si congiungono con regolarità, si ha, come a suo luogo si è veduto, la cristallizzazione.

Alle concrezioni possiamo in primo luogo riferire le stalattiti e le stalagmiti. Consistono le prime in coni allungati che pendono dalle volte di molte caverne; e sogliono venir prodotte da una deposizione di carbonato di calce che le acque filtranti fuori dalle volte delle caverne medesime tenevano prima disciolto, e che per la perdita dell'acido carbonico e insieme per la propria evaporazione vanno a poco a poco abbandonando. Le stalagmiti in vece sono delle specie di pilastri che s'alzano dal suolo nelle stesse caverne; e nascono da deposizione del medesimo carbonato di calce fatta dalle goccie cadute. Talvolta aumentandosi le une e le altre, arrivano a riunirsi insieme e a formare delle specie di colonne che sembrano sostenere quelle grotte (*). Bellissima per questo genere di fenomeni è la grotta di Antiparos.

(*) V. Daubuisson, *Géognosie*, t. I, p. 152.

280. Le sorgenti che tengono sciolto il carbonato calcare, sogliono per le medesime cagioni abbandonarlo sul loro letto e sui loro margini, rivestendoli in cotal modo di un'incrostazione petrosa che talvolta s'accresce considerabilmente. È famoso a questo riguardo il ponte formatosi naturalmente alla fontana di *Saint-Allire* presso Clermont nell'Alvernia.

I tubi che conducono queste acque vengono col tempo da una tale deposizione ostrutti, se non si ha cura di ripulirli di tempo in tempo (1).

Se nelle acque che contengono molta di questa sostanza si immergono delle foglie, de' ramuscelli, ec., vengono questi in breve tempo rivestiti di una incrostazione che li fa sembrare impietriti.

Ai bagni di S. Filippo in Toscana si trae profitto da questa proprietà; si espongono a tali acque delle forme di medaglie, di bassi rilievi, di statuette, ec., e in capo a qualche mese si trovano riempiute di un finissimo e bianchissimo alabastro.

Ai bagni di Tivoli e in diversi altri luoghi si producono certe singolari concrezioni dette *pisoliti* o *confetti di Tivoli*, le quali sono delle masse formate dall'unione di tante piccole pallette di carbonato di calce a strati concentrici ed aventi nel centro un granello d'arena o qualche altro corpicello straniero. Il ribollire della sorgente fa saltellar per l'acqua questi granellini, rivestendoli intanto di strati calcarei, fino a che essi divenuti troppo pesanti rimangono a fondo, si conglutinano insieme, e formano delle masse (2).

Anche la silice forma delle concrezioni, però assai più di rado. Un esempio se ne ha nel catino della sorgente di Geyser.

281. Si crede da parecchi che le petrificazioni dei

(1) Su questo oggetto è da leggersi una memoria del sig. Dumas negli *Ann. de Chim. et de Phys.*, novembre, 1826.

(2) Daubuisson, *Géogn.* t. I, p. 153 e seg.

legni sieno state prodotte dall' avere l'acqua a poco a poco disciolte le molecole di natura vegetale, e sostituite nei luoghi medesimi delle molecole silicee che ella teneva in soluzione (1).

Lo stesso si crede delle conchiglie e delle ossa degli animali, che talora si scontrano petrificate. Si crede che l'acqua abbia sciolta e levata la parte cartilaginosa, la quale insieme con la calcare costituiva dapprima quelle sostanze, ed abbia in sua vece deposte delle molecole petrose di natura ordinariamente silicea (2).

282. Tornando alla formazione in genere delle concrezioni e delle precipitazioni, si osserva che quando avvengono o per evaporazione del liquido o per raffreddamento di esso, in generale per quelle circostanze che hanno facoltà di recarlo al punto di saturazione senza l' aggiunta di nuova sostanza solida, si osserva, dico, che elle non incominciano sempre precisamente allorquando è arrivato questo punto, ma molte volte le sostanze rimangono ancora sciolte, benchè sia passato questo segno. Appena però che incominci in qualche luogo la cristallizzazione o la precipitazione, allora ella continua sino a che sia tutta passata allo stato solido quella quantità della sostanza sciolta che eccedeva il punto di saturazione.

Un esempio notabilissimo lo abbiamo nel solfato di soda; un altro nel muriato di ammoniaca (3), ec. Di questo genere è il fenomeno del rimanere sciolta la silice a temperature alle quali non potrebbe più nuovamente sciogliersi (§ 275).

Egli sembra che fino a tanto che la sostanza tenuta in soluzione è ancora tutta sciolta, benchè l'acqua sia già soprassaturata, manchino quei centri di poderosa at-

(1) Haüy, *Minéralogie*, t. I, p. 95.
(2) *Ibid.* p. 94.
(3) *Ibid.* t. II, p. 226. Monge negli *Annales de Chimie, par Morveau*, ec., t. V, p. 1.

trazione, che forzano le molecole vicine ad unirsi a sè, per cui queste sono facilmente ritenute dall'attrazione del liquido. Ma appena che si trovino in qualche parte delle piccole masse solide della stessa sostanza, queste, attesa la forte attrazione di aggregazione che manifestano pel gran numero delle loro molecole, non solo non possono più ridisciogliersi, ma attraggono a sè le molecole congeneri che sono contigue e che stanno ancora sciolte; e ciò fino a che si torni al vero punto di saturazione, cioè insino a tanto che l'attrazione dell'acqua verso queste molecole, pel diminuire del numero di esse, siasi aumentata a segno da equilibrare quell'attrazione di aggregazione.

Delle Combinazioni.

283. Chiamasi dai Chimici *Combinazione* quella maniera di composizione di più sostanze, nella quale le molecole dei componenti in forza delle chimiche affinità si uniscono fra loro in determinato numero per dare origine alle molecole integranti della sostanza composta.

Anche le mescolanze e le soluzioni sono unioni di più sostanze che al pari delle combinazioni danno de' composti omogenei in tutte le loro parti. Ma fra esse e le combinazioni si ha questa differenza, che nelle mescolanze le molecole di una sostanza si spargono semplicemente e si interpongono fra quelle dell'altra, rimanendo ancora slegate le une dalle altre; laddove nelle combinazioni le molecole delle diverse sostanze si congiungono e si legano le une colle altre. Così quando l'acqua si mesce coll'alcool, le molecole di quella si disperdono fra le molecole di questo, ma senza congiungersi; e nel formarsi l'acqua dalla combinazione dell'ossigeno coll'idrogeno avviene che una o più molecole del primo in forza di chimica attrazione si uniscono e si legano con altre molecole del secondo.

Noi ci riserveremo ad altro luogo di parlare de' caratteri, pe' quali le sostanze composte per mezzo delle combinazioni si distinguono da quelle composte in via di mescolanza. Avvertiremo qui soltanto che i vocaboli di *combinazione* e di *mescolanza* vengono usati non solamente per indicare l'atto del combinarsi e quello del mescersi insieme le sostanze, ma eziandio per dinotare i composti che ne derivano. Noi diciamo, p. e., che il solfato di calce nasce dalla *combinazione* dell'acido solforico colla calce, ovvero ch'esso è la *combinazione* di queste due sostanze; che l'acqua forte risulta da una *mescolanza* od anche che è una *mescolanza* di acqua con acido nitrico. E un simil costume vi ha altresì riguardo al vocabolo *soluzione*.

Della Combustione.

284. Fra le combinazioni tien luogo principalissimo la Combustione; la quale, secondo che si suole più comunemente definirla, è *quel fenomeno chimico in cui l'ossigeno si combina con alcuni corpi detti combustibili con sensibile sviluppo di calorico e di luce.*

Perchè abbia luogo la combustione sono necessarie tre condizioni: l'ossigeno, il combustibile, e un grado di calore iniziale.

285. *L'ossigeno* viene il più delle volte somministrato dall'aria atmosferica, nella quale trovasi mescolato nella proporzione in volume di 21 a 100: di qui si scorge perchè il soffiare sul fuoco giovi ad animare la combustione, e perchè questa non bene riesca nelle camere chiuse. Alle volte viene somministrato allo stato liquido, come nella combustione del potassio sull'acqua; ed alle volte anche allo stato solido, come nella combustione della polvere da cannone, nel qual caso viene ceduto dal nitro.

286. Di combustibili sonovi in natura moltissime sorte, altri semplici ed altri composti. Il carbonio e

l'idrogeno sono i più comuni, e di questi sono in gran parte composti i legni co' quali sogliamo alimentare le ordinarie combustioni. Vi ha lo zolfo, il fosforo, il potassio, il sodio, lo zinco, ec.

287. Richiedesi un grado di calore iniziale per determinare l'incominciamento della combinazione dell'ossigeno coi combustibili: incominciata però ch'ella sia, va producendo ella medesima quel calore che fa d'uopo per la sua continuazione. Questo grado di calore varia secondo le sostanze combustibili: i legni hanno bisogno di temperature molto elevate, allo zolfo basta una temperatura non molto superiore a quella dell'acqua bollente, al fosforo bastano +24° R. per la combustione rapida, e +4° R. solamente per la combustione lenta; il gas idrogeno fosforato brucia appena arrivato a contatto dell'aria.

288. La combustione è accompagnata da diverse circostanze; alcune essenziali, quali sono lo sviluppo del calore, e lo sviluppo della luce; ed altre accidentali, qual è la detonazione, il fumo, ec.

Lo sviluppo del calore ha luogo in tutte le combustioni, anzi è una condizione necessaria perchè il fenomeno si chiami con tal nome. Esso ci è utilissimo, e ne caviamo partito per riscaldarci nella fredda stagione, per cuocere i cibi, e per molti altri usi. L'origine di questo calore è ancora incerta.

289. Un'altra circostanza essenziale è lo sviluppo della luce. Questo talora si chiama *arroventamento* o *incandescenza*, ed è quando i corpi che divengono luminosi per la combustione, sono allo stato solido o allo stato liquido: così succede del carbone e del ferro. Sembra che questa luce sia una conseguenza del grandissimo calore, giacchè i corpi fortemente riscaldati divengono roventi senza che brucino; così fa il vetro.

Talora questo sviluppo di luce si chiama *fiamma*, la quale si ha allorquando ciò che risplende è una sostanza aeriforme o almeno ne ha l'apparenza. Molte

volte in fatti si ha veramente una sostanza aeriforme incandescente, alle volte in vece non si hanno che delle minutissime faville o particelle solide incandescenti. La prima maniera di fiamma si manifesta nella combustione dell'idrogeno puro, in quella dell'alcool, in quella dell'etere. La fiamma de' legni e delle candele è di natura mista; nasce essa dalla combustione del fumo, e vi si veggono risplendere delle minutissime particelle solide (*). Quanto poi ci sia utile la luce della fiamma è a tutti notissimo.

Allo sviluppo di luce si può riferire la scintillazione, la quale consiste nello staccarsi dai corpi accesi delle particelle incandescenti, che vengono lanciate lontano con impeto, suddividendosi talora in molte altre.

290. Fra le circostanze accidentali una è quel violento ed istantaneo romore, da cui sono accompagnate alcune combustioni. Questo alle volte procede da subita formazione di fluidi aeriformi, come avviene nella polvere da cannone; ed alle volte da loro distruzione, come succede nella combustione del *gas tonante* che è ossigeno misto ad idrogeno nelle proporzioni convenienti per formar l'acqua. E si suol dire *scoppio*, *fulminazione*, *detonazione*.

291. In molte combustioni si suole alzare del *fumo*, il quale ordinariamente consiste in vapor acqueo, gas idrogeno carburato, gas acido carbonico, particelle solide combustibili, ec., il tutto misto coll'aria. Le particelle solide sono quelle che attaccandosi alle canne dei cammini formano la *fuliggine*.

292. Ma lasciando qualche altra più minuta circostanza veniamo a parlare delle conseguenze della combustione. Combinandosi in un tale fenomeno l'ossigeno con diverse sostanze, e queste separandosi sovente da

(*) Sulla fiamma ha fatto osservazioni molto importanti il Davy, V. gli *Annales de Chimie et de Phys.*, t. I, III, e IV; ovvero anche il *Giornale di Fisica* di Pavia, t. X.

altre con cui prima erano unite, ne derivano diversi prodotti che prima non si avevano. Lo zolfo combinandosi, mediante la combustione, coll' ossigeno, dà origine al gas acido solforoso assai nocivo alla respirazione, e in alcune circostanze all' acido solforico od *olio di vitriolo*. Il carbonio produce del gas acido carbonico. Il gas idrogeno forma dell'acqua. I vegetabili che sono composti per una gran parte del loro peso di carbonio, di idrogeno, e di ossigeno, oltre a molta acqua, specialmente se verdi, producono nella loro combustione del gas acido carbonico e del vapore acqueo, lasciando pochi residui alcalini e terrei che costituiscono la *cenere*. Di qui si ha la ragion facile perchè queste sostanze vegetali nella combustione sembrino venir distrutte. Nelle ceneri contiensi ordinariamente della potassa, la quale è quella che comunica alla lisciva la proprietà di nettare i pannilini.

Vedute queste cose riguardo alla combustione in generale, passiamo a vedere alcune singolarità che si osservano nella combustione di certe sostanze particolari.

293. Cominciando dal fosforo, mostra esso due particolarità. La prima si è di avere due modi di combustione, cioè la combustione rapida che ha luogo con luce vivissima alle temperature superiori a +24° R.; e la combustione lenta, la quale nell' aria comune succede ogni volta che la temperatura sia superiore a +4° R., e produce una luce debóle visibile solamente nell' oscurità. L'altra particolarità, scoperta dal chiarissimo Can. Bellani, consiste in ciò, che la sua combustione lenta avviene a temperature tanto più basse quanto è più raro l'ossigeno nello spazio ove esso fosforo si trova, sì allorquando la rarezza dell'ossigeno proviene da dilatazione dell'aria, come quando ella dipende dall' essere l'ossigeno misto ad abbondante quantità di altro fluido aeriforme. Per tale proprietà il fosforo è atto a togliere da un dato spazio tutto

quanto l'ossigeno che vi è contenuto, e così ad analizzare l'aria atmosferica.

294. L'idrogeno sulfurato che alla temperatura ordinaria brucia (§ 287) appena giunto in contatto dell'aria, è una combinazione aeriforme di fosforo con idrogeno; e si ottiene riscaldando in una piccola storta una poltiglia di calce estinta con un dodicesimo di fosforo tagliuzzato. L'acqua della poltiglia si decompone; il suo ossigeno si combina con una parte del fosforo formando acido ipofosforoso, il quale poi si unisce alla calce producendo dell'ipofosfito di calce; e l'idrogeno si unisce ad un'altra parte del fosforo, dando origine all'idrogeno fosfurato che si sviluppa allo *stato* aeriforme.

295. Lo zinco brucia con bella fiamma cilestra, e produce una sostanza che dicevasi già *lana filosofica* ed ora *ossido* di *zinco*.

296. Il potassio, metallo che si ottiene decomponendo la potassa cioè privandola del suo ossigeno, è cotanto avido di questo, che abbrucia appena che tocchi l'acqua o anche il ghiaccio, i quali esso decompone per appropriarsi il loro ossigeno e con esso riprodurre la potassa.

Cenni sulle altre Combinazioni.

297. Diversi metalli esposti all'aria, specialmente se umida, si combinano lentamente e senza sviluppo di luce coll'ossigeno. Tale è il modo con cui irrugginisce il ferro. Questo fenomeno, quando i prodotti non abbiano proprietà acide, dicesi *ossidazione*, e i composti medesimi *ossidi metallici:* così la ruggine suolsi chiamare *ossido di ferro*.

L'inverdimento del rame suol nascere dalla ossidazione di questo metallo e dalla combinazione del suo ossido coll'acido carbonico esistente nell'aria.

Lascerò poi ai Chimici di parlare di quei metalli

che combinandosi coll'ossigeno si convertono in acidi, e di dare una più estesa teoria della combinazione dell'ossigeno colle diverse sostanze; come pure lascerò a loro di parlare di tutte le altre combinazioni in particolare. Mi fermerò solamente a ragionare di alcune circostanze che sogliono generalmente accompagnare le combinazioni.

298. Nelle combinazioni suole comunemente svilupparsi una quantità notabile di calorico. Oltre alla combustione possiamo citare in esempio l'estinzione della calce viva. E ciò si osserva anche in molte mescolanze, p. e. in quella dell'alcool coll'acqua, in quella dell'acqua coll'acido solforico.

In alcune combinazioni suole eziandio svilupparsi della luce. Lasciando a parte la combustione, noi il veggiamo nella combinazione dello zolfo col rame, la quale si ottiene mescolando della polvere del primo con della fina limatura del secondo nella proporzione di 3 ad 8, e determinando in qualche punto l'incominciamento della combinazione per mezzo del calore.

299. Del suddetto sviluppo di calore si è fatta una utile applicazione ne' così detti *zolfanelli fosforici*.

Consistono questi in fuscellini d'un legno facile ad accendersi, qual sarebbe il larice, intrisi ad una estremità prima d'un poco di zolfo, e quindi di una mescolanza di zolfo con clorato di potassa; e si accendono col porli a contatto di una qualsivoglia minima quantità di acido solforico.

È questo clorato di potassa una combinazione di potassa e di acido clorico, e l'acido clorico è esso pure una sostanza composta, cioè una combinazione di cloro e di ossigeno. Allorquando la mistura dello zolfo col clorato di potassa viene in contatto coll'acido solforico, questo per la sua fortissima affinità verso la potassa, seco lei si combina facendole abbandonare l'acido clorico; e l'ossigeno di quest'ultimo avendo più affinità collo zolfo che si trova presente

nella mistura che non ne ha col cloro, abbandona questo e si appiglia a quello formando dell' acido solforico. Così si incomincia ad avere una dose di queste tre sostanze, 1.° Solfato di potassa che rimane allo stato solido, 2.° Cloro che si sviluppa in istato aeriforme, 3.° Acido solforico nato dall'unione dell'ossigeno collo zolfo; e insieme si ha elevazione di temperatura. Di queste tre sostanze le prime due rimangono senza ulteriore azione; ma l' acido solforico novellamente formato si comporta col rimanente della mistura come fece la stilla che servì da principio. Onde per mezzo di esso succede una nuova decomposizione sì del clorato di potassa che dell'acido clorico, da cui si ha una nuova dose delle medesime tre sostanze, cioè solfato di potassa, cloro, ed acido solforico, ed un' ulteriore innalzamento di temperatura. Il nuovo acido solforico che si è tornato a produrre prosegue l' operazione chimica, la quale continua rapidissimamente fino a che tutto il clorato di potassa siasi decomposto: e frattanto la temperatura va gradatamente elevandosi sino a divenir sufficiente a determinare la combustione dello zolfo con cui si era intriso dapprincipio il fuscellino di legno.

Considerazioni generali sulle Affinità chimiche.

300. Prima di passare alle Decomposizioni trovo conveniente di esporre alcune generali considerazioni sulle affinità.

L'affinità che una medesima sostanza ha colle altre, a parità di circostanze è di diversa forza secondo la natura di queste ultime. Ne abbiamo avuto testè un esempio nella decomposizione del clorato di potassa per mezzo dell' acido solforico; altri esempii gli abbiamo veduti nell' effetto della mescolanza del carbo-

nato di potassa col muriato di calce (§ 278), e nella decomposizione dell' acqua per mezzo del potassio (§ 296).

A questi aggiungeremo il fenomeno che si osserva allorquando si pone successivamente nell' acqua forte dell' argento, del rame, e del ferro. L' acqua forte, di cui si fa tanto uso nelle arti, è acido nitrico allungato con molta acqua, e questo acido nitrico è una combinazione dell' ossigeno con una sostanza aeriforme abbondantemente contenuta nell' aria atmosferica ed appellata *azoto*. Ora se in essa acqua forte si pone dell' argento in minuti pezzetti, questo vi si discioglie. Scioltavene la massima possibile quantità e quindi postovi del rame, sciogliesi quest' ultimo e si precipita l' argento; in simil modo si precipita il rame mediante il ferro (*). Lo sciogliersi dell' argento avviene perchè questo metallo prima si combina con una parte dell' ossigeno dell' acido nitrico, convertendosi in ossido d' argento, e quindi un tale ossido si combina al rimanente acido nitrico formando del nitrato d' argento che rimane in soluzione. Il precipitarsi poi dell' argento per mezzo del rame nasce dalla maggiore affinità che l' ossigeno e l' acido nitrico hanno rispettivamente col rame e coll' ossido di rame che non coll' argento e coll' ossido d' argento: così l' ossigeno e l' acido abbandonano l' argento, il quale per l' attrazione di aggregazione delle sue particelle si precipita (§ 277), e si uniscono al rame formando del nitrato di rame che resta sciolto. Similissima è la ragione per cui il rame viene precipitato dal ferro.

L'oro e il platino non vengono attaccati dall'acido nitrico, il che procede dall' avere esso su questi metalli minore azione che sull' argento e sugli altri. Per discogliere questi due metalli si fa uso dell' *acqua regia*, la quale è una mescolanza degli acidi nitrico

(*) Poli, *Fisica*. Venezia, 1804, t. I, p. 68.

e muriatico. Versando questi due acidi insieme uniti in un vaso ove si contenga, p. e., dell'oro, l'acido nitrico somministra al metallo una parte del suo ossigeno, e l'ossido d'oro a proporzione che si forma si unisce all'acido muriatico, formando del muriato d'oro che rimane in soluzione.

301. Gli effetti dell'affinità sono grandemente modificati dalla coesione de' corpi sui quali questa forza deve operare. La combustione, p. e., del carbonio nell'ossigeno puro ha luogo al di sotto del calor rovente, quando esso sia tratto dalle sostanze vegetali, e però sia porosissimo e formato di parti poco coerenti; all'incontro ella esige un calore fortissimo quando questa sostanza sia molto compatta, come allorquando è allo stato di diamante.

Quindi è che allo stato solido le sostanze operano pochissimo le une sulle altre: ma in ciò oltre alla forte coesione ha parte altresì lo scarso numero de' punti di contatto che i corpi possono avere fra loro. Lo stato più favorevole alle azioni delle chimiche affinità è quello della liquidità, nel quale si ha somma mobilità nelle molecole, e numerosi punti di contatto. Lo stato aeriforme è men vantaggioso per la molta distanza a cui si trovano le molecole; però non lasciano d'aver luogo molte combinazioni anche fra sostanze che sieno o tutte o parte allo stato aeriforme.

302. Ha grandissimo effetto nella energia delle affinità chimiche anche il calore. N'abbiamo prova nella combustione a cui fa d'uopo il calore iniziale, e nella ossidazione de' metalli che avviene più prontamente alle temperature elevate. Il mercurio che alle temperature ordinarie non soffre azione sensibile dall'aria, se si espone per molto tempo ad una temperatura elevata tenendolo in contatto coll'aria, si ricopre di una pellicola rossa, la quale è l'*ossido rosso* di questo metallo, sostanza che dagli antichi Chimici chiamavasi *precipitato per sè*, ed anche *precipitato rosso*.

Questa azione del calore sembra dipendere in molti casi dalla facoltà che ha il calorico di indebolire la coesione dei corpi; per cui le molecole della stessa natura attraendosi meno le une colle altre possono più facilmente obbedire all'affinità che hanno verso le molecole di natura diversa, quando però questo vantaggio non venga tolto da diminuzione che abbia sofferto anche l'affinità.

Sembra però che il calorico ajuti le combinazioni anche in qualche altro modo; giacchè con la ragione or ora esposta non si potrebbe spiegare come esso possa agevolare la combinazione de' fluidi aeriformi, p. e. la combustione dell'idrogeno.

303. Nelle combinazioni ha una grande azione anche l'Elettricità, la quale ora le favorisce ed ora le impedisce.

Per darne un esempio, i corpi elettrizzati positivamente si combinano all'ossigeno con maggiore facilità che quando si trovano allo stato naturale, e quando in vece sono elettrizzati in meno si combinano con esso più difficilmente. Del che il celebre Humphry Davy fece una importante applicazione alla conservazione della foderatura delle navi. Questa foderatura essendo di rame, è soggetta a venire col tempo ossidata dall'ossigeno ospitante nell'acqua del mare (giacchè questa al pari di ogni altra può assorbire delle sostanze aeriformi (vedi § 263); e l'ossido che ne risulta decompone i sali che si contengono nell'acqua marina medesima, e si unisce coi loro acidi (sono questi gli acidi muriatico e solforico, i quali si trovano combinati con la soda, la calce, e la magnesia, formando secondo il Murray de' muriati di soda, di calce, e di magnesia, e del solfato di soda); e in cotal modo il rame va a poco a poco corrodendosi. Per impedire questo danno consiglia il Davy di inchiodare sopra la foderatura di rame una lamina di ferro, la quale rimanga essa pure sott'acqua. Con ciò

il rame comunicando una parte del suo naturale fluido elettrico al ferro viene ad elettrizzarsi in meno, cessa dal venire ossidato, e dal decomporre i sali dell' acqua marina, e si conserva. All' incontro il ferro che viene ad elettrizzarsi in più è prestamente attaccato e corroso; ma terminato quel pezzo, se ne rimette un altro.

Lo stesso Davy, in vista di cotesta grande influenza della elettricità nelle affinità chimiche, opina ch' ella sia la lor vera cagione; ma di ciò sarà più opportuno a ragionare altrove.

Delle Decomposizioni.

304. Chiamasi *Decomposizione* la separazione di una sostanza da una o più altre con cui trovavasi combinata. Si possono ottenere le decomposizioni principalmente in tre maniere, cioè colle affinità prevalenti, col calore, e coll' elettricità.

305. Delle decomposizioni ottenute per mezzo delle affinità prevalenti, agli esempii che abbiamo arrecati più sopra (§ 300), aggiungeremo quello della separazione dell' acido carbonico dalla calce per mezzo dell' acido solforico, e quello dell' isolamento del gas idrogeno col versare dell' acido solforico diluito sulla limatura di ferro.

306. Non solo il calore promuove le combinazioni, ma è anche uno dei mezzi per decomporre le sostanze. Il carbonato di calce viene privato dell' acido carbonico e convertito in calce viva per mezzo del fuoco. L' ossido rosso di mercurio, che si forma facendo ossidare il mercurio ad un calore non molto forte, torna a decomporsi ne' suoi due principii ad un calore più intenso.

Serve molte volte il calore anche a separare le sostanze che sono semplicemente mescolate insieme; il che egli fa rendendo aeriformi quelle del miscuglio, le quali

sono più volatili delle altre. Tale è il modo con cui si concentrano gli acidi, pei quali si suol ritenere solamente la parte che rimane allo stato liquido; e così anche si rettifica l'alcool, dove si conserva in vece la sola parte più volatile, facendo col processo chiamato la *distillazione*, che essa dopo volatilizzata si torni a convertire in liquido.

Questo effetto del calore si attribuisce alla tendenza che esso ha a recar le sostanze allo stato aeriforme, in grazia di cui avviene molte volte che esse si liberano dalla unione con altre per assumere questo stato.

307. L'elettricità è uno de' più possenti mezzi di decomposizione che la Chimica possegga. Con essa si decompone l'acqua. Con essa il Davy ha operate le decomposizioni della soda e della potassa, che fino ad allora non si erano potute ottenere.

308. Usando opportunamente di questi metodi di decomposizione i Chimici sanno separare le sostanze composte ne' diversi loro componenti; la quale operazione chiamano essi *analisi*, appellando in vece *sintesi* l'operazione contraria del formare le sostanze composte unendo nelle convenienti dosi le sostanze che le debbono costituire.

Applicazioni delle precedenti dottrine ad alcune singolari sperienze e ad alcuni fenomeni naturali.

309. Ai fenomeni dipendenti dalle chimiche affinità che abbiamo precedentemente citati, ne aggiungeremo per la loro singolarità alcuni altri, sì di quelli che vengono prodotti dall'arte che di quelli operati spontaneamente dalla natura.

Un fenomeno singolarissimo, e del quale non è ancora ben chiara in tutti i casi la spiegazione, si è

quello degli *inchiostri simpatici*, i quali sono certe qualità di inchiostri che si possono ora rendere visibili ed ora fare scomparire. Il muriato di cobalto e il muriato di rame sciolti nell' acqua danno due inchiostri, i quali allorquando la carta è fredda sono invisibili, ma se questa si riscaldi, il primo comparisce con un colore verde azzurro, e il secondo con color giallo. Una delle spiegazioni che si possono dare al fenomeno si è di riguardare questi due sali come più solubili a freddo che a caldo (§ 269), e di ammettere che alle basse temperature stiano sciolti in quell' acqua che suole naturalmente essere contenuta nella carta; e che in vece alle temperature elevate, parte per lo seccarsi della carta e parte per la minore solubilità de' sali, questi cessino dal rimanere disciolti e si rendano visibili.

310. Se ad una soluzione satura di acetato di piombo si aggiunga una eguale quantità di acqua distillata, e quindi vi si ponga entro un pezzetto di zinco collocato alla sommità di un bastone di ottone, si veggono sullo zinco formarsi delle fogliette metalliche, che quindi crescono in rami e danno al bastone l' apparenza di un albero. Si chiama questo, dal nome dato già dagli Alchimisti al piombo, l'*albero di Saturno;* e si forma perchè l'acido acetico, avendo maggiore affinità collo zinco che non col piombo, fa ossidare il primo e si unisce col suo ossido, ed abbandona il secondo in istato metallico; l' acetato di zinco che così viene a formarsi sta sciolto nel liquido, e il piombo repristinato si depone sullo zinco rimanente, facendo una specie di cristallizzazione, che è appunto quella che costituisce quelle foglie e que' rami.

311. Similissima è la ragione della conversione apparente del ferro in rame operata da alcune acque minerali. Tengono queste disciolto del solfato di rame, il rame e il suo ossido hanno rispettivamente meno affinità coll' ossigeno e coll' acido solforico che

il ferro e l'ossido di ferro; e il solfato di ferro è un sale molto solubile nell'acqua.

312. L'aria infiammabile che si sviluppa sommovendo il limo che trovasi sul fondo delle paludi, è gas idrogeno carburato, formato dalla decomposizione delle sostanze vegetabili. Si può raccoglierlo con bottiglie capovolte piene d'acqua (1).

Questo gas è pur quello che brucia sui *terreni ardenti*, sulle *fontane ardenti*, e che si sviluppa nelle miniere di carbon fossile, dove avanti che si inventasse da Davy la lanterna di sicurezza metteva sovente a pericolo la vita dei minatori.

313. I fuochi fatui si fanno dipendere dall'accensione del gas idrogeno fosfurato che si sviluppa dalla putrefazione dei corpi animali. Da questo gas si crede pure originato l'alito infiammabile che qualche rara volta emettono alcune persone (2).

314. Vi sono parecchie sorgenti che contengono del petrolio ed altre materie bituminose; tali sono le sorgenti di Monte Zebio nel Modonese osservate da Spallanzani; ve n'ha parecchie ad Astracan, e alle rive del Tigri; il qual fiume ne riceve in alcuni luoghi una sì grande quantità, che accostando alle sue acque una torcia accesa, s'infiammano su tutta la superficie fino ad una distanza considerabile; e durano queste fiamme sino a che tutta la sostanza bituminosa non sia consunta (3).

315. In alcuni luoghi suole svilupparsi naturalmente del gas acido carbonico. Si cita fra gli altri la *grotta del Cane* presso Pozzuoli nel Regno di Napoli. Di qui il bisogno di precauzioni nell'entrare nelle caverne. Si può però estrarnelo col mezzo di fornelli, adattando al ceneratojo de' tubi che entrino assai nell'interno di quelle.

(1) Collezione delle Opere del conte Volta, tomo III.
(2) *Ibid.* p. 313.
(3) Daubuisson, *Géognosie*, t. I, p. 57.

316. Le fermentazioni dei vegetabili sono anch'esse fenomeni naturali prodotti dalle chimiche affinità. Chiamansi con tal nome que' processi per mezzo dei quali le sostanze vegetabili morte si decompongono e lasciano luogo ad altre successive composizioni. Distinguonsi dai Chimici più sorte di fermentazioni, fra le quali principalmente vi sono la fermentazione *vinosa*, l'*acetica*, la *putrida*.

Nella vinosa la sostanza zuccherina si converte in alcool e in gas acido carbonico; essa succede fra gli altri casi nel mosto delle uve, quando si fabbricano i vini; da essa nasce il pericolo di asfissia nelle tinaje, da essa proviene la spuma de' vini generosi e della birra.

Nella acetica fra le altre cose avviene che l'alcool si decompone e che si forma dell'acido acetico (l'acido acetico è quello che allungato con molta acqua costituisce l'aceto distillato); ella è un proseguimento della fermentazione vinosa. La fermentazione putrida poi o putrefazione è l'ultimo grado di decomposizione a cui vanno soggette le sostanze vegetali: con essa si ottengono sostanze o del tutto inorganiche, quali sono l'acido carbonico, l'azoto, l'idrogeno carburato, l'acqua, ovvero non più alterabili per se medesime.

317. Questa putrefazione o fermentazione putrida ha luogo anche nelle sostanze animali morte. Queste quando sieno umide e alle temperature ordinarie dell'atmosfera si decompongono, e ricomponendosi in nuove maniere producono diverse sostanze, quali sono l'acqua, l'idrogeno carburato, l'acido carbonico, l'acido acetico, l'ammoniaca. Parecchii di questi prodotti nello svilupparsi portano seco una parte di materia non interamente decomposta, ed allora hanno un odore fetidissimo, insopportabile, e sono estremamente nocivi all'economia animale.

318. Le fermentazioni in genere sono favorite, oltre

ad altre circostanze, dal calore e dall'umidità, ed impedite dal freddo e dal secco. È notissimo che i fieni se si ammucchiano umidi prestamente entrano in fermentazione. Il mosto delle uve difficilmente fermenta quando la stagione sia troppo fredda. Le carni crude che nell'inverno possono conservarsi per molto tempo, alla state si corrompono facilissimamente, e per conservarle si pongono nel ghiaccio. Alcuni cadaveri d'uomini rimasti sepolti nelle aridissime sabbie dell'Affrica non sono entrati in putrefazione, ma sonosi conservati quali mummie naturali; le parti molli si sono prestamente seccate, e sulle sostanze allo stato solido poco possono le chimiche affinità.

319. In quanto alla facoltà che ha il freddo di preservare le carni dalla putrefazione, ne possiamo citare esempii notabilissimi. Alcuni cadaveri di persone perite sgraziatamente sotto le nevi, sonosi rinvenuti freschissimi e come morti appena allora, dopo molti mesi ed anche anni (1). Il capitano Sabine ritrovò allo Spitzberg pochi anni sono dei cadaveri ancora freschi i quali erano stati colà sepolti già da 80 e più anni (2). Ne' paesi agghiacciati della Siberia, dove bulicano gli avanzi di animali periti in una delle grandi catastrofi cui hà soggiaciuto il globo terraqueo, e probabilmente in quella di cui parlano le Sacre Carte e che chiamiamo il *Diluvio Universale*, si sono rinvenuti de' cadaveri colle carni non ancor putrefatte di Rinoceronti (3), e di Elefanti (4).

(1) Thénard, *Chimie*, t. III, p. 497.

(2) Gazzetta di Milano, 25 gennajo 1824, alla data d'Inghilterra.

(3) *Nouveau Dictionnaire d'Histoire Naturelle*. Paris, 1803, t. VIII, p. 566.

(4) Daubuisson, *Géognosie*, t. II, p. 509.

CAPO XII.

BREVI NOZIONI SULLE SOSTANZE SEMPLICI E COMPOSTE

320. Le sostanze ponderabili si sogliono dai Chimici distinguere in semplici e composte. Chiamansi *semplici* quelle che da nessun processo hanno potuto essere separate in più sostanze diverse, sia poi ch'elle sieno veramente semplici cioè non formate di più sostanze, sia che appajano tali a noi per insufficienza di mezzi. All'incontro chiamansi *composte* quelle che si sono potute separare in più altre, e che perciò sappiamo effettivamente essere formate dall'unione di diverse di quelle semplici.

La natura ci presenta quasi sempre sostanze composte e di infinite specie. Decomposte però dai Chimici si sono trovate formate di un numero ben piccolo di semplici, le quali unendosi in moltissimi modi danno origine a quella infinita varietà. Credevano gli antichi che le sostanze semplici o gli elementi come essi dicevano de' corpi fossero solamente quattro, cioè la *Terra*, l'*Acqua*, l'*Aria*, e il *Fuoco*. Ma la Chimica moderna ha trovata molto lontana dal vero questa loro opinione; nè altro vi ha in questi supposti elementi che una rassomiglianza coi quattro stati *solido*, *liquido*, *aeriforme*, ed *imponderabile*, quando si voglia aggiungere anche quest' ultimo ai tre stati della materia pesante. Riguardando però le cose da un aspetto diverso da quello della semplicità o composizione, e comprendendo sotto il nome di Terra tutte le sostanze solide, e sotto quello di Fuoco tutte le imponderabili, non si può negare che quei quattro non sieno i principali elementi della natura.

321. Le sostanze che ai nostri mezzi si presentano come semplici ascendono presentemente a 52, e si possono ridurre ai quattro generi seguenti:

1.° Ossigeno.

2.° Sostanze ossigenabili semplici non metalliche: Azoto, Idrogeno, Carbonio, Zolfo, Fosforo, Cloro, Silicio, Boro, Iodio, Selenio, Bromo.

3.° Sostanze ossigenabili semplici metalliche: Platino, Oro, Argento, Rame, Ferro, Stagno, Piombo, Mercurio, Zinco, Bismuto, Arsenico, Antimonio, Manganese, Niccolo, Cobalto, Tunsteno, Molibdeno, Cromo, Colombio, Titanio, Tellurio, Cererio, Uranio, Cadmio, Palladio, Osmio, Iridio, Rodio, Potassio, Sodio, Bario, Strontio, Calcio, Zirconio, Alluminio, Glucinio, Ittrio.

4.° Sostanze riputate composte, ma che non si sono ancora potute effettivamente decomporre; e sono ora solamente la terra Magnesia, l'alcali Litina, l'acido Fluorico.

Noi esporremo in succinto alcune proprietà delle più importanti fra esse.

Cenni sulle proprietà delle principali sostanze semplici.

322. *Dell'Ossigeno.* Esso è un componente dell'aria atmosferica, della quale è più pesante nella proporzione di 1,1026 ad 1. È una sostanza importantissima nella natura. È desso quello che rende l'aria atta alla respirazione e alla combustione: in un luogo ove manchi l'ossigeno, o dove questo non sia libero ma combinato ad altre sostanze con forte affinità, per esempio in un luogo dove non vi sia che azoto o gas acido carbonico; i corpi accesi si estinguono, e gli animali cadono asfittici, e lasciati qualche tempo in questo stato periscono (il protossido d'azoto, ove l'ossigeno è contenuto più abbondantemente che nell'aria e può facilmente separarsi dall'azoto, serve anch'esso alla combustione e meglio dell'aria medesima). Nell'ossigeno puro poi la combustione riesce vivissima;

quella del fosforo dà una luce che non si può sopportare; quella del ferro ha luogo con una copiosa scintillazione. Combinato con diverse altre sostanze forma la maggior parte degli acidi, gli ossidi, l'acqua. Si può ottenere riscaldando fortemente l'ossido rosso di mercurio.

323. *Dell'Azoto.* È questo l'altro de' maggiori componenti dell' aria atmosferica, di cui è più leggiero nella proporzione di 0,9757 ad 1. È inetto alla respirazione, per cui appunto ottenne il nome di azoto. Si può ottenerlo dall' aria atmosferica, togliendone l' ossigeno colla combustione del fosforo, e quindi l'acido carbonico colla potassa caustica.

Si combina coll' ossigeno in diverse determinate proporzioni, con una delle quali costituisce l' acido nitrico o acqua forte.

324. L'aria atmosferica è un miscuglio di

21 parti in volume di ossigeno,

79 di azoto,

una piccola quantità di gas acido carbonico, che dall'inverno alla state varia dai 5 ai 7 diecimillesimi del total volume supposto privato del vapore acqueo,

una piccola porzione di vapor acqueo assai variabile, che talora è di ¼ centesimo del total peso, talora di un centesimo, ed anche di due.

È l'aria una delle più importanti sostanze della natura. Essa mantiene la respirazione degli animali, e serve alla combustione e quindi alla più comune produzione artificiale di luce e di calore; ai quali ufficii nello stato attuale delle cose mal servirebbe il puro gas ossigeno, ed è opportunissimo ch' esso sia temperato coll'azoto; giacchè senza quest'ultimo la combustione sarebbe estremamente rapida, e gli organi della respirazione verrebbero troppo eccitati. L'aria è altresì il veicolo dei suoni, e degli odori; ella ci prolunga il giorno e colla luce de' crepuscoli e col trattenere sopra l'orizzonte per alcuni minuti l'immagine

del Sole già tramontato; durante poi la giornata riflettendo in parte i raggi solari ci rende illuminato il cielo, e con ciò rischiara que' luoghi dove non può penetrare nè la luce diretta del Sole nè quella riverberata dagli oggetti terrestri. Su di essa si regge il volo di più classi di animali; essa è quella che muove le navi per l'immensità dei mari. Abbondantemente pertanto il Creatore ne provvide il globo, ricoprendolo d'un alto strato di essa tutto all'intorno.

325. *Dell' Idrogeno.* È un gas leggierissimo, pesando rispetto all'aria come 0,0688 ad 1, o sia come 1 a 14 ½; della quale leggerezza si trae partito per innalzare i palloni aerostatici.

Si combina coll' ossigeno, producendo l'acqua, la quale è formata dall' unione di due volumi di idrogeno con uno di ossigeno, ovvero da 111 parti in peso del primo con 889 del secondo. Quest' acqua poi è una delle sostanze più importanti, e ci si suole presentare in tutti e tre gli stati solido, liquido, ed aeriforme. Solida dicesi ghiaccio o neve, e in questo stato ricoprendo la sommità delle alte montagne serve ad alimentare le sorgenti e i fiumi; si usa altresì il ghiaccio in varie occorrenze della vita, e. g. per conservare le carni nelle state, e per far bevande freddissime. Quando è liquida si appella col proprio nome di acqua, ed è trasparente, insipida, inodora, se però non tenga sciolta qualche sostanza o salina o acida o vegetale o animale; in questo stato di liquidità ella è utilissima, servendo alla nutrizione di tutti gli esseri organizzati sì animali che vegetabili, a moltissimi bisogni della vita, a mille processi delle arti. Allo stato aeriforme dicesi *vapore*, e si contiene nell' aria atmosferica talora come vapore invisibile o sia veramente aeriforme, talora sotto forma di nebbie o di nuvole allo stato *vescicolare;* e se ne separa cadendo in pioggia o in neve, e così provvedendo i luoghi sottoposti che ne possono abbisognare, a spese

dei mari e degli altri vasti bacini dai quali esala: allo stato aeriforme si impiega altresì per mettere in moto le moltiplici macchine a vapore. Ottiensi pura colla distillazione, o raccogliendo quella della pioggia dopo che n' è caduta alquanta; nei pozzi e nelle sorgenti contiene spesso disciolte delle sostanze minerali, in grazia delle quali talvolta è medicinale, ma sovente è grave a bersi ed insalubre; peggiore ella è negli stagni ove suol tenere sciolte delle sostanze animali e vegetali putrefatte.

Combinato il medesimo idrogeno coll'azoto forma l'alcali ammoniaca.

326. *Del Carbonio.* Questo è il carbone depurato, ossia il massimo componente del carbone comune. Il carbonio trovasi puro e cristallizzato nel diamante, la quale sostanza fu sospettata combustibile da Newton, riconosciuta come tale dagli Accademici di Firenze nel 1694, trovata contenere del carbonio da Lavoisier, e determinata essere di carbonio puro da diversi celebri Chimici di questi ultimi tempi.

Combinato coll'ossigeno forma il gas acido carbonico, fluido aeriforme più pesante dell'aria nella ragione di 1,5245 ad 1, e del quale si sono già dette più cose, e del suo svilupparsi nelle fermentazioni, e del suo ritrovarsi naturalmente in alcune grotte, e come si possa ritrarre dal carbonato di calce, e come sia inetto alla respirazione ed alla combustione. Aggiungeremo ora che questo gas si forma continuamente in questi due processi, i quali a poco a poco scemando l'ossigeno dell'atmosfera, e versando in questa tutta la massa del carbonio esistente in natura, renderebbero in breve l'aria irrespirabile, se per una provvida legge i vegetabili non ritornassero ad assorbire e a decomporre questo acido carbonico, appropriandosi per sè il carbonio e restituendo l'ossigeno all'atmosfera a profitto degli animali.

Combinato coll'azoto costituisce il così detto *Ciano-*

gene o *Azoto carburato*, il quale è una sostanza aeriforme che unita all'idrogeno forma l'*acido Idrocianico o Prussico*, uno dei più possenti veleni della natura.

Si combina coll'idrogeno in più proporzioni; e fra tali combinazioni quelle che sono aeriformi hanno il nome di *gas Idrogeni carburati*. A questi appartiene l'aria infiammabile che si sviluppa dalle paludi e dalle miniere di carbon fossile; quella che esce da alcune sorgenti e da alcuni terreni; quella che ottenuta dalla distillazione del carbon fossile serve principalmente in Inghilterra alla pubblica illuminazione.

Combinato lo stesso carbonio coll'ossigeno e coll'idrogeno forma i diversi principii vegetali; e coi medesimi e inoltre coll'azoto costituisce i più de' principii animali.

327. *Dello Zolfo*. Conosciutissimo combustibile che si trova abbondantemente nell'Italia meridionale, soprattutto alla Solfatara presso Pozzuoli nel Regno di Napoli.

Combinato coll'ossigeno, nella proporzione di 1 di zolfo ad 1,491 di ossigeno, costituisce l'acido solforico od olio di vitriolo; e combinato collo stesso semplicemente nella proporzione di 1 di zolfo a 0,994 di ossigeno forma il gas acido solforoso, sostanza assai nociva alla respirazione.

Combinato coll'idrogeno forma il velenoso gas idrogeno sulfurato, detto anche gas acido idrosolforico.

Mescolato con carbone e nitro in opportune proporzioni forma la polvere da cannone.

328. *Del Fosforo*. Combustibile di natura singolarissima, scoperto primieramente dall'Amburghese Alchimista Brandt nel 1669, e poscia da Kunkel, essendone però rimasta secreta la preparazione fino al 1737. Brucia, come si è già detto, in due modi e a temperature assai basse; e serve ad analizzare l'aria atmosferica. Esiste in molte sostanze animali, e principalmente nelle ossa, le quali contengono del fosfato di calce. Nei primi tempi estraevasi dalle urine putrefatte, concentrate, e fortemente riscaldate.

L'idrogeno fosfurato, di cui si è già fatto parola, è una combinazione di questa sostanza coll'idrogeno.

329. *Del Cloro.* Il sal comune secco è formato di due sostanze, l'una metallica che è il Sodio, l'altra aeriforme che finora non si è potuta decomporre e che nei tempi più moderni si è ritenuta come semplice e per certo suo color verde appellata Cloro. In conseguenza di che esso sale si chiama presentemente da un gran numero di Chimici *Cloruro di sodio.*

Precedentemente però (e da alcuni Chimici anche presentemente) questo cloro si riguardava come una sostanza composta, formata cioè di un acido particolare che non si era peranco potuto isolare e a cui davasi il nome di *acido Muriatico secco*, e oltre a questo di ossigeno, e in luogo di cloro si appellava *gas acido Muriatico ossigenato;* e ammettevano i seguaci di questa opinione che a comporre il sal comune un tale gas incominciasse col suo ossigeno a convertire il sodio in soda, e quindi l'altro suo componente ossia l'acido si combinasse colla soda e desse un *Muriato secco di soda.*

Lo stesso è di un gran numero di altri sali; quelli che secondo l'opinione più antica si appellano *Muriati secchi di calce, di potassa, di rame, di cobalto*, ec., reputandosi formati di acido muriatico secco unito cogli ossidi di calcio, di potassio, di rame, di cobalto, ec., nella opinione più moderna si hanno per combinazioni di cloro co' metalli calcio, potassio, rame, cobalto, ec., e si dicono *Cloruro di calcio, Cloruro di potassio*, ec.

330. Del cloro vi ha un'applicazione assai vantaggiosa che è quella di purgar l'aria infetta da miasmi. Si prendono 125 grammi di acido solforico con altri 125 grammi di acqua, e inoltre 250 grammi di sal marino e 70 di ossido di manganese, si pone il tutto in un vaso sopra alcuni carboni accesi, e col cloro che si sviluppa, in 12 ore o al più in 24 si

può purgare una sala anche fortemente infetta, p. e. una sala dove si aprano cadaveri; per le sale degli ospedali può bastare una minor dose, facendo più fumigazioni, finchè si incominci a sentire l'odor del cloro. L'acido solforico fa qui due ufficii; una parte di esso disossida alquanto il manganese per combinarsi ad un altro suo ossido formato con minore quantità di ossigeno; l'altra parte determina il cloruro di sodio a separarsi ne' suoi due componenti, de' quali il cloro rimane libero, e il sodio si unisce prima all'ossigeno abbandonato dall'ossido di manganese, e l'ossido di sodio ossia la soda che ne risulta si combina col suddetto acido solforico per formare del solfato di soda.

331. Il cloro si combina coll'ossigeno, producendo l'acido clorico, il quale poi unito alla potassa forma il clorato di potassa usato nei zolfanelli detti fosforici.

Combinandosi lo stesso cloro coll'idrogeno dà una sostanza anch'essa aeriforme chiamata *gas acido Idroclorico*. Questa da coloro che seguono l'opinione antica è riguardata come una combinazione di acido muriatico secco, di ossigeno, e di idrogeno, ossia di acido muriatico secco e di acqua, e viene da essi appellata *gas acido Muriatico*.

332. *Del Silicio.* Il silicio è una sostanza ottenuta in questi ultimi tempi dal chimico Svedese Berzelius, per mezzo della decomposizione della terra silice, la quale è la combinazione di esso silicio coll'ossigeno. La silice poi è una sostanza sommamente diffusa, essendo contenuta in un grandissimo numero di pietre, e predominando sopra le altre sostanze in molti estesi terreni e catene di montagne; p. e. nelle Alpi, e nel suolo di Lombardia. Ella trovasi pura nel cristallo di rocca, e quasi tale nelle agate, nelle corniole, nella calcedonia, nella pietra focaja, in genere nelle diverse varietà di quarzo, come pure nelle pomici, ec. Essa si trova altresì nell'epidermide di alcune piante graminacee.

333. *Del Boro.* Il boro è una sostanza di recente scoperta contenuta nel borace o borato di soda, del quale si fa uso nelle arti per le saldature. È questo borace una combinazione di acido boracico e di soda, risultando poi esso acido boracico da ossigeno combinato al boro.

334. L'*Iodio* è un' altra sostanza di fresca scoperta, dotata della proprietà di volatilizzarsi in vapori violetti, dal che trasse il suo nome.

335. Del *Selenio* e del *Bromo* null' altro diremo, se non ch' esse sono due sostanze d' assai recente scoperta.

336. *Dei Metalli in genere.* Sono i metalli sostanze semplici, opache, dotate di un vivo splendore loro proprio, capaci di entrare in combinazione coll' ossigeno, attissime a condurre l'elettricità, ed assai buone a condurre il calorico. Gli antichi ne conoscevano solamente sette, cioè l'oro, l'argento, il rame, il ferro, lo stagno, il piombo, e il mercurio o argento vivo; e a questi gli Alchimisti avevano assegnati i nomi de' sette pianeti, credendo di vedere parecchie relazioni fra gli uni e gli altri; ma di questi nomi non si mantenne che quello di mercurio dato all' argento vivo. Presentemente sonosi accresciuti a un gran numero, come appare dalla enumerazione fattane superiormente (§ 321).

337. *Del Platino.* È questo un metallo bianco, quasi simile all' argento, più grave d' ogni altra sostanza, pesando da 21 a 22 volte l'acqua. Venne scoperto verso la metà del secolo scorso in America, e se ne attribuisce l'onore al celebre Spagnuolo Antonio Ulloa. È utile per molti usi, e. g. per farne de' crogiuoli, essendo pochissimo attaccabile dagli acidi e dalle altre sostanze, e di difficilissima fusione.

338. *Dell' Oro.* Questo fu sempre il più prezioso dei metalli, e avanti la scoperta del platino era la più pesante sostanza che si conoscesse, avendo una gra-

vità specifica di 19,258. È sommamente malleabile, potendosi stendere in foglie sottilissime, onde è che serve a ricoprire e ad adornare gli oggetti di lusso. È utilissimo nel commercio per l'uso che se ne fa nelle monete. È assai tenero e pieghevole, e per dargli alquanta durezza e consistenza suole allegarvisi un po' d'argento o di rame. Un altro suo pregio si è di non ossidarsi collo stare esposto all'aria o all'umidità, e di conservare perciò sempre il suo pulimento e splendore metallico. Di questa qualità però gode anche il platino e molto anche l'argento, i quali insieme con l'oro si dicono per questa ragione i tre metalli nobili.

339. *Dell'Argento.* Metallo conosciutissimo, utile pei medesimi usi dell'oro, benchè molto meno prezioso. Esso entra nella composizione della *Pietra infernale*, altro questa non essendo che un *Nitrato di argento*.

340. *Del Rame.* Notissimo ed utilissimo metallo, ma pericoloso pei velenosi sali a cui può dare origine, specialmente in contatto di sostanze acide. Di qui la necessità di stagnarlo, quando si vuole adoperarlo in usi di cucina.

Unito allo stagno in diverse proporzioni forma le varie specie di bronzo utili o per campane o per cannoni o per altri usi.

341. *Del Ferro.* Questo è il più utile dei metalli, somministrando all'agricoltura e alle arti meccaniche quasi tutti i loro utensili, e molti oggetti ai varii usi della vita.

Con una piccola dose di carbonio (da 0,001 a 0,020) forma l'acciajo, assai più elastico e duro che non è il ferro.

Con una proporzione di carbonio molto maggiore (cioè di 96 parti di carbonio per ogni 4 di ferro) costituisce la piombaggine di cui si formano i *lapis* o matite per disegnare.

Collo zolfo forma il *Sulfuro di ferro* o *Pirite marziale*, minerale assai diffuso in natura.

Trovasi alle volte allo stato *nativo* in alcune masse che credonsi cadute dal cielo; ed è uno degli ingredienti degli aeroliti o pietre meteoriche, formate generalmente di molta silice con ferro, magnesia, poco nikel, e alcune altre sostanze in piccola quantità.

342. *Dello Stagno.* Serve a ricoprire il rame e con ciò a renderlo innocuo. Ricopresi altresì con esso il ferro per difenderlo dalla ruggine. La *latta*, di cui si fa tanto uso, altro non è che ferro in lamine stagnate.

La sua amalgama serve per la fabbricazione degli specchii.

343. *Del Piombo.* È un altro notissimo metallo, tenero, malleabile, poco tenace, e impiegato in varii usi, p. e. nei tubi per condurre le acque delle sorgenti.

344. *Del Mercurio o Argento vivo.* Metallo che gode della prerogativa singolare di mantenersi liquido alle ordinarie temperature. Gela però a — 31° R., prendendo l'aspetto del piombo o dello stagno, e bolle a +280° R. È pesantissimo, giacchè nel vacuo, a 0° R., pesa specificamente secondo Biot 13,5995. È prezioso ai Fisici, specialmente per la costruzione dei termometri e dei barometri; gli ultimi de' quali ci mancherebbero se esso non esistesse. L'usano altresì i Medici nella cura di diverse malattie.

Il *Sublimato corrosivo* è un *Cloruro di Mercurio.*

345. *Dello Zinco.* Unito al rame nella proporzione di circa 3 a 7 forma la bella lega dell'*Ottone*, utilissima nelle arti pe' molti lavori che se ne fanno.

346. Il *Bismuto* è un metallo di apparenza poco diversa dallo stagno, cui anche si avvicina per la facile fusione.

347. L'*Arsenico* è noto per le sue qualità velenefiche.

348. Il *Niccolo* o *Nikel* e il *Cobalto* sono capaci delle proprietà magnetiche a simiglianza del ferro.

349. Intorno all'*Antimonio* e al *Manganese* lascerò che si consultino i trattati di Chimica. E rimanderò pure a questi chi bramasse conoscere le proprietà dei metalli *Molibdeno*, *Tunsteno*, *Cromo*, *Colombio*, *Titanio*, *Tellurio*, *Cererio*, *Uranio*, *Cadmio*, *Iridio*, *Osmio*, de' quali null'altro dirò se non che sono tutti di recente scoperta.

350. I due metalli *Palladio*, e *Rodio* non sonosi finora rinvenuti che nel platino greggio.

351. *Del Sodio, e del Potassio.* Sono stati scoperti da Davy, decomponendo la soda e la potassa colla pila Voltiana. Sono essi due metalli leggierissimi, pesando specificamente meno dell'acqua, assai fusibili, molli, dotati di somma affinità verso l'ossigeno, per cui soglionsi conservare sotto la nafta; il potassio in ispecie brucia appena che si trovi in contatto coll'acqua.

Combinati coll'ossigeno in certe proporzioni costituiscono l'uno la soda, e l'altro la potassa. Queste si sogliono ricavare dalla lissiviazione delle ceneri; cioè la potassa dalle ceneri comuni, e la soda da quelle di alcuni vegetabili marini; e sono sostanze dotate di fortissima affinità verso gli acidi, e messe fra le principali di quelle che diconsi *alcali:* servono sì l'una che l'altra a fondere la silice per la fabbricazione del vetro, e anche si usano nella fabbricazione del sapone.

352. *De' metalli Calcio, Bario, Strontio, Alluminio, Glucinio, Ittrio, e Zirconio.* Sono questi stati ricavati dalle terre Calce, Barite, Strontiana, Allumina, Glucinia, Ittria, e Zirconia, le quali dalle recenti scoperte de' Chimici sonosi trovate formate dalla combinazione di tali metalli coll'ossigeno. Noi non parleremo dei loro particolari caratteri, essendo ancora poco conosciuti; in vece faremo alcuni cenni sui loro ossidi, cioè su quelle terre che da essi risultano.

In generale le *Terre* sono delle sostanze solide non

combinabili coll' ossigeno, prive dello splendore metallico, formanti delle masse fragili; e se ne contano nove, cioè la *Silice*, la *Calce*, la *Barite*, la *Strontiana*, l'*Allumina*, la *Glucinia*, l'*Ittria*, la *Zirconia*, la *Magnesia*. Della silice abbiamo già parlato altrove (§ 332); dove abbiamo veduto ch' ella è composta di ossigeno e d' una sostanza combustibile non metallica detta il *Silicio*: la magnesia benchè non si reputi semplice non si è finora potuta decomporre. Delle altre sette ecco alcuni cenni.

353. La *Calce* è una sostanza abbondantissima, ma si trova sempre combinata con altre sostanze, soprattutto cogli acidi. Il marmo calcare, che è un carbonato di calce, forma delle intere catene di montagne; il gesso, sostanza da tutti conosciuta, è un solfato di calce; le ossa degli animali contengono molto solfato e molto carbonato di calce. È questa calce impiegata in molti usi: la calce viva e il gesso si usano per cemento negli edificii; il carbonato di calce serve a far colonne, statue, vasi d' alabastro, ec.

La *Barite*, e la *Strontiana* godono insieme colla calce di proprietà alcaline.

354. L'*Allumina* è un' altra delle terre più diffuse in natura. Ella è abbondantissima in alcuni terreni, p. e. nei vicini paesi oltrepadani. Trovasi in grandissimo numero di minerali; il topazio, lo zaffiro, e il rubino sono formati principalmente di essa. L'allume di rocca è un solfato di allumina unito a solfato di potassa o a solfato di ammoniaca. Le argille colle quali noi facciamo tanti lavori (§ 171) sono principalmente composte di allumina e silice insieme commiste. Questa terra è stata recentemente decomposta da Wöhler.

L'*Ittria* e la *Glucinia* sono state esse pure decomposte da poco tempo dal medesimo Wöhler.

La *Zirconia* è stata decomposta pochi anni fa da Berzelius.

355. *Delle sostanze riputate composte.* Questa classe che pochi anni sono era assai numerosa, trovasi ora ridotta alla terra *Magnesia*, all'alcali *Litina*, e all'acido *Fluorico*. Tali sostanze sono quelle, che sebbene non siansi finora potute decomporre, hanno però molti caratteri che le danno a conoscere per composte; e questi indizii hanno acquistato maggior forza, dopo che si sono realmente verificati per un gran numero di terre.

356. La *Magnesia* dopo la silice, l'allumina, e la calce è la terra più diffusa. Il sale amaro o sale d'Inghilterra è un *Solfato di Magnesia*. L'amianto è composto di magnesia in gran parte. Si crede essere l'ossido di un metallo cui si è preparato il nome di *Magnesio*.

Nella stessa condizione trovasi l'alcali *Litina*, credendosi essere l'ossido di una sostanza cui si è già assegnato il nome di *Litio*.

357. L'acido *Fluorico* in fine è tenuto esso pure per composto; ma intorno al modo di sua composizione i Chimici sono divisi d'opinione: chi il crede formato di una sostanza sconoscinta e di ossigeno, e chi di una sostanza sconosciuta e di idrogeno. Trovasi in natura combinato colla calce in un minerale chiamato *Fluato di calce;* ed è il solo acido che sciolga la silice.

Delle sostanze composte in genere.

358. Allorchè trovansi insieme unite diverse sostanze semplici, si hanno quelle che diconsi composte. Di queste constano quasi tutti i corpi naturali, essendo difficilissimo il poterne trovare di quelli la cui sostanza sia semplice e purissima.

Tutte poi le innumerabili sostanze composte possono ridursi a questi tre generi: *Mescolanze meccaniche*, *Mescolanze chimiche*, e *Combinazioni chimiche*.

359. Le *Mescolanze meccaniche* sono quelle che vengono formate dall'unione di piccole masse eterogenee interposte le une alle altre. Tali sono: le sabbie, per lo più formate di granellini di diversa natura; la calce mescolata all'arena per uso di cemento; le argille; l'olio sbattuto coll'acqua; l'acqua ove stiano sospese delle polveri solide, ec.. È da annoverarvisi anche la polvere da schioppo, benchè per la minutezza delle parti, in cui colla triturazione riduconsi le sostanze componenti, e pel loro uniforme mescolamento si avvicini d'assai alle mescolanze chimiche. Si hanno mescolanze meccaniche ogni volta che si rimescolano fra loro delle sostanze solide ridotte in piccoli frantumi; giacchè per minuti che questi sieno ed invisibili all'occhio, constano pur sempre ciascuno di migliaja e migliaja di molecole integranti. Possono aversi mescolanze meccaniche anche fra solidi e liquidi, e fra liquidi e liquidi; come nei colori impastati coll'olio, nel mercurio impastato col grasso per usi medicinali.

360. Le *Mescolanze chimiche* si distinguono dalle meccaniche per la loro omogeneità in tutte le parti; e si concepiscono formate non già dalla vicendevole interposizione di piccole masse, ma da quella delle molecole integranti delle sostanze componenti. Tale è l'aria comune, tali le soluzioni dei sali nell'acqua, le mescolanze dell'acqua coll'alcool e coll'acido solforico, i liquidi che hanno assorbite delle sostanze aeriformi; tali possono riguardarsi le leghe metalliche. I fluidi aeriformi si possono in generale mescolar tutti fra loro, in guisa da formare mescugli omogenei; non così i liquidi, de' quali alcuni vi si rifiutano, p. e. l'acqua coll'olio, la stessa col mercurio. I solidi poi fino a che trovansi in questo stato non possono mai venire a formare una mescolanza chimica, ma è d'uopo che per una qualche cagione divengano fluidi. Due pietre triturate e rimescolate saranno sempre una mescolanza meccanica; fuse o sciolte in un acido potranno farne una chimica.

Le mescolanze chimiche, quando non sieno fra sostanze aeriformi, si considerano come deboli combinazioni, prodotte da affinità poco forti; giacchè egli è da credere che qualche grado di affinità vi sia necessario, al vedere che alcune sostanze ricusano di mescersi chimicamente.

Distinguonsi poi dalle vere combinazioni, 1.° pel non rimanere in esse distrutte le proprietà dei componenti, le quali soltanto son rese meno energiche, come scorgesi nel sal comune sciolto nell'acqua, nell'alcool e nell'acido solforico diluiti, nell'aria comune ove l'ossigeno conserva le sue proprietà; 2.° pel non essere determinate le proporzioni in cui debbono trovarsi i componenti; p. e. l'acqua può mescersi coll'alcool in qualsivoglia proporzione, e così pure con un sale che vi si sciolga, purchè questo non oltrepassi una certa dose, variabile secondo le temperature.

361. Nelle *Combinazioni chimiche* all'incontro le proprietà de' componenti trovansi in gran parte distrutte, e se ne hanno di nuove totalmente diverse. A cagion d'esempio i gas ossigeno ed idrogeno, entrambi aeriformi, combinati insieme nelle debite proporzioni formano una sostanza liquida cioè l'acqua, laddove essendo semplicemente commisti nelle proporzioni medesime formano un'aria particolare che dicesi il *gas tonante;* l'ossigeno combinato coll'azoto in una certa proporzione forma uno dei più forti acidi cioè l'acido nitrico, e misto insieme nella stessa proporzione non sarebbe che un fluido aeriforme più ossigenato dell'aria comune e affatto privo dei caratteri dell'acidità; il sulfuro di ferro non viene attratto dalla calamita, ec. ec. Inoltre i componenti si trovano uniti in proporzioni determinate: tutta l'acqua del mondo quando sia pura è costituita da due volumi di idrogeno combinati con uno di ossigeno; nel gas acido carbonico d'ogni paese l'ossigeno e il carbonio stanno in peso come 20 a 7,54.

Le combinazioni (§ 283) si attribuiscono ad attrazioni molto energiche, in forza di cui le particelle integranti dell'un componente si uniscano in determinato numero a un numero pure determinato di molecole dell'altro componente per produrre le molecole integranti del composto, accoppiandosi, p. e., una con una, una con due, una con tre, due con tre, ec.

362. Le sostanze composte possono nascere o dall'unione di sostanze semplici, o da quella di sostanze già composte. Della prima specie sono tutti gli ossidi metallici, gli acidi minerali, gli alcali minerali, ec. Alla seconda appartengono i sali; p. e. il nitro o nitrato di potassa è formato dalla combinazione dell'acido nitrico colla potassa, le quali sostanze sono già composte l'una di azoto e di ossigeno, l'altra di potassio e di ossigeno. In questo secondo caso le sostanze composte che si uniscono a formare la combinazione, come sono nell'addotto esempio l'acido nitrico e la potassa, si dicono principii constituenti *prossimi* o *immediati*; e le altre di cui queste sono già formate, come sono nel medesimo esempio l'ossigeno, l'azoto, e il potassio, si dicono principii costituenti *remoti*.

Delle sostanze inorganiche in particolare.

363. Un'altra maniera di divisione delle sostanze naturali si è quella di distinguerle in *minerali* o *inorganiche*, in *vegetali*, e in *animali*. Quelle che si riscontrano nella natura inorganica, e quelle altre che da esse possono ricavarsi per mezzo delle lor sole vicendevoli affinità e delle altre forze inorganiche, senza che v'abbiano parte le forze vitali o degli animali o dei vegetabili, si sogliono appellare sostanze *inorganiche* ovvero *minerali*. Quelle invece che non si hanno se non col soccorso di processi organici o sia per mezzo delle forze della natura organizzata, si sogliono appellare sostanze *vegetali* od *animali*, se-

condo che derivano dall'uno o dall'altro regno della natura; ed anche con nome comune si chiamano sostanze *organiche*. Faremo qualche cenno delle une e delle altre cominciando dalle inorganiche.

364. Fra le sostanze inorganiche si comprendono primieramente tutte le semplici o indecomposte, potendosi tutte ottenere senza bisogno di processi organici: queste però sono assai poche; e sebbene alle già conosciute se ne possano forse col tempo aggiungere parecchie altre, egli sembra ad ogni modo che il loro numero sarà sempre assai limitato. In secondo luogo appartiene alla classe medesima delle inorganiche una parte delle sostanze composte; e queste seconde sono in numero immenso. Perocchè ommettendo anche le mescolanze meccaniche e le mescolanze chimiche, che attesa la variabilità delle proporzioni possono essere in un numero quasi infinito, e stando alle sole combinazioni, e' vi ha primieramente un grandissimo numero di composti binarii prodotti dall'unione delle sostanze semplici a due a due; quindi le numerosissime combinazioni di questi composti binarii e fra loro e colle sostanze semplici; in fine le ulteriori combinazioni che molte volte si hanno dalle precedenti combinazioni secondarie. Fortunatamente però si è trovato potersi esse distribuire in diverse classi, dotate ciascuna di molti caratteri comuni a tutte le specie comprese, donde è venuto un grande sollievo alla memoria e allo studio delle loro proprietà. Non fermandoci a ragionare delle semplici mescolanze che hanno proprietà non difficili a prevedersi, e passando a fare qualche menzione delle combinazioni, noi possiamo principalmente notare fra i composti binarii le classi seguenti.

365. *Gli Acidi minerali.* Sono questi delle sostanze dotate di sapore acido, atte ad arrossare certe tinture vegetali, aventi una grande affinità colle altre sostanze, segnatamente cogli ossidi metallici, cogli al-

cali, e colle terre. Sono essi la più parte formati da combinazioni dell'ossigeno con altre sostanze semplici; così è degli acidi solforico, nitrico, carbonico, fosforico, molibdico, tunstico, ec. Alcuni però risultano da combinazioni dell'idrogeno; tali sono il gas acido idrosolforico, e verisimilmente il gas acido muriatico o idroclorico. Hannovi poi degli acidi anche fra le sostanze organiche, come vedremo in breve.

366. *Gli Ossidi.* Chiamansi con tal nome quelle combinazioni *dell'* ossigeno che sono mancanti dei caratteri dell'acidità. Ve n'hanno di quelli appartenenti a combustibili semplici non metallici; p. e. ve ne sono due dell'azoto, il *protossido*, e il *deutossido;* vi ha l'ossido di carbonio, l'ossido di idrogeno che è l'acqua. Molti più ve ne hanno appartenenti ai metalli; anzi varii metalli n'hanno più di uno, p. e. il ferro, il rame, il mercurio.

367. *Gli Alcali.* Son questi delle sostanze di sapore acre, caustico, atte a rinverdire alcune tinture vegetali, solubili nell'acqua, aventi una grande affinità cogli acidi, co' quali vengono *neutralizzati* ossia perdono le loro proprietà. Gli antichi annoveravano fra gli alcali le tre sole sostanze potassa, soda, ed ammoniaca; si è quindi aggiunta la terra calce, essendovisi riconosciute delle proprietà analoghe a quelle delle tre sostanze or ora menzionate; e da ultimo le terre barite e strontiana, e la sostanza recentemente scoperta cui è stato dato il nome di litina. Vedremo poi che altri assai ve ne hanno anche nella natura organizzata. Questi alcali si riguardano come gli antagonisti degli acidi, essendo atti in molti casi a distruggere gli effetti prodotti da questi ultimi; valgono, a cagion d'esempio, a repristinare i colori stati alterati dagli acidi. Abbiamo poi già veduto che gli alcali minerali sono altrettanti ossidi metallici, ad eccezione dell'ammoniaca che è composta diversamente, e per avventura della litina se mai avverrà che

si trovi formata in modo diverso da quello che si sospetta (§ 356).

368. Vi sono inoltre le combinazioni de' combustibili semplici non metallici sì fra loro che coi metalli, le quali si chiamano *sulfuri*, *carburi*, *fosfuri*, ec.; p. e. *Sulfuro di rame*, *Carburo di ferro*, ec. Non aggiungiamo le leghe metalliche, perchè queste non avendo determinate le proporzioni dei componenti sono piuttosto da riguardarsi come mescolanze che come combinazioni.

369. Fra le combinazioni dei composti binarii si hanno principalmente i sali, i quali nascono dall'unione degli acidi cogli alcali, cogli ossidi metallici, e colle terre, in generale con quelle sostanze che sono capaci di neutralizzarli. Alcuni di essi sono solubili nell'acqua e sapidi; p. e. il solfato di rame, il solfato di soda, ec. Altri sono poco solubili od anche affatto insolubili ed insipidi, quali sono il solfato di calce, il carbonato di calce. Ella è poi cosa singolare che il sal comune, il quale sembra fra tutte le sostanze quello che meriti per eccellenza il nome di *sale*, viene da molti moderni chimici escluso da questa classe, e posto fra le combinazioni de' combustibili semplici col nome di *Cloruro di Sodio*.

370. I composti binarii si combinano qualche volta anche colle sostanze semplici, ma poco frequentemente. Si ha di questo genere di combinazioni il cloruro di calce, la soluzione del quale serve a disinfettare i corpi cui viene applicata, il fosfuro di calce, ec.

De' principii vegetali.

371. Le diverse parti solide e liquide dei vegetabili, il legno p. e., le corteccie, le foglie, i diversi sughi, ec., analizzate diligentemente dai Chimici hanno dimostrato di avere per loro principii immediati diverse sostanze, le quali per la più parte non si sono

ancora potute ottenere colle sole forze della natura inorganica, nè lasciando operar queste spontaneamente nè ajutandole coll' arte. Tali principii immediati diconsi *principii vegetali*, e sono l' oggetto di quel ramo di scienza che dicesi Chimica vegetale, e risultano quasi tutte dalle sole tre sostanze *ossigeno*, *idrogeno*, e *carbonio* combinate insieme in diverse maniere.

Da queste sostanze, prodotte nelle piante viventi dall' economia vegetale, altre ne derivano dopo la morte o dalle loro spontanee decomposizioni, o dal trattarle coi processi della Chimica; anche queste quando non abbiano le simili nella natura inorganica, sebbene sieno derivate dall' azione delle forze inorganiche, pure si annoverano fra i principii vegetali, giacchè senza l' organizzazione non avrebbero potuto esistere.

Trovansi però in questi corpi organizzati anche moltissime sostanze inorganiche, ossia che hanno delle somiglianti nel regno minerale, le quali o sono anch'esse state formate dall' economia vegetale, o sonosi introdotte colla nutrizione e rimaste inalterate. Tali sono: l' acqua che vi è abbondantissima, specialmente negli umori; la soda, la potassa, l' ossido di ferro, ec.

372. Fra questi principii vegetali se ne contano primieramente molti di natura acida, detti *acidi vegetali*. Tali sono:

L'acido *acetico*, che si contiene nell'aceto, che coll' ossido di rame costituisce il verderame usato nelle arti, che coll'ossido di piombo forma il *Sal di Saturno* o *Zucchero di Saturno* o *Acetato di piombo* utile nella Medicina;

L'acido *citrico*, che ritrovasi nel sugo di limone;

Il *benzoico*, che ha la proprietà di cristallizzare per sublimazione;

Il *tartarico*, che unito alla potassa forma il tartaro delle botti;

Il *chinico*, che si contiene nel medicinale *china*, ec.

373. Molti di natura alcalina, appellati *alcali vegetali*.

La *Morfina* (che si estrae dall'oppio), la *Stricnina*, la *Veratrina*, la *Brucina*, e diverse altre sostanze di recente scoperta, estremamente velenose, e che sono cagione delle qualità venefiche dei vegetabili da cui si ricavano.

La *Chinina*, che esiste nelle diverse sorte di china e specialmente nella china gialla, la qual chinina è essa pure di fresca scoperta e dotata di possente virtù febbrifuga, ec. ec.

374. Molti finalmente che non sono nè acidi nè alcalini:

Lo *Zucchero*, sostanza conosciutissima, solubile nell'acqua, e cristallizzabile come i sali.

L'*Alcool* o *Spirito di vino*, che nasce dallo zucchero per mezzo della fermentazione. Esso è un liquido trasparentissimo, più leggiero dell'acqua, pesando specificamente quando sia purissimo, 0,792; assai volatile, bollente a soli +63°R. quando la pressione atmosferica sia quella di 28 pollici di mercurio, ma che con nessun freddo si è ancora potuto far gelare. Esso è quello che dà la forza ai vini e ad altri liquori. Suole ottenersi distillando questi più volte, e in fine distillando l'ultimo prodotto sopra un sale deacquificato, p. e. sul muriato di calce secco (cloruro di calcio).

Gli Eteri. Il più comune è l'*Etere solforico*, che ottiensi ponendo a distillare dell'alcool con sotto dell'acido solforico; è un liquido leggierissimo, pesando nello stato di purezza 0,716, combustibilissimo, volatilissimo e bollente ad assai basse temperature, cioè a circa +28 1/2 R., ma che non si è potuto nemmeno esso far congelare.

L'*Amido*, le *Gomme*, gli *Olii*, le *Resine*, la *Cera*, le *Materie coloranti*, il *Principio legnoso*, ec. ec.

Dei principii animali.

375. Ciò che si è detto de' corpi vegetali ha luogo anche pe' corpi animali. Le diverse parti di questi sì solide che molli e liquide, le ossa, le cartilagini, le carni muscolari, il sangue, gli altri varii umori, ec. nascono dalla unione di diverse sostanze, la maggior parte delle quali non possono venir prodotte che dall'economia animale: queste e quelle che da esse possono derivare non esistenti ne' regni inorganico e vegetale diconsi i *principii animali;* e sono formate quasi tutte dalle quattro sostanze semplici ossigeno, azoto, idrogeno, e carbonio, aggiugnendovisi in alcune qualche poco di fosforo e di zolfo. Fra esse faremo brevissima menzione delle seguenti:

376. *La Fibrina.* Questa entra in gran parte a comporre le carni muscolari.

377. *L'Albumina.* Ella esiste con molta acqua e con qualche traccia d'altra sostanza nel bianco dell'uovo da cui ha tratto il nome. Disciolta pure in molt'acqua, entra abbondantemente nel sangue, e in altre parti animali. È il sangue composto di un liquido trasparente giallastro che si chiama *siero*, e di una moltitudine di corpicelli colorati in esso nuotanti, della cui figura si è già parlato precedentemente (§ 28), e i quali nel sangue cavato raccolgonsi in una massa o coagulo. Ora il siero è formato di 8 centesimi circa di albumina sciolta in 90 all'incirca di acqua, con de' sali di soda e di potassa in leggerissima quantità. I corpicelli poi o globetti rossi sono formati di fibrina, di una materia colorante, oltre a poca albumina e ad alcuni sali. Tornando all'albumina, ella è di quelle poche sostanze che stanno più facilmente sciolte nell'acqua fredda che nella calda; di qui il rapprendersi del bianco dell'uovo mediante il calore. Ma dopo solidificata non si può più ridisciogliere nell'acqua fredda che con mezzi chimici.

378. *La Gelatina.* Manca negli umori; ma trovasi abbondante nelle membrane, nelle cartilagini, e in moltissime altre parti molli e solide de' corpi animali, specialmente nelle ossa. Queste, depurate dal midollo e da tutte le altre sostanze straniere, sono formate di un tessuto cellulare, che racchiude nelle sue cavità del solfato di calce per circa $^4/_{10}$, del carbonato di calce per $^1/_{10}$, con alcune tracce d' altre sostanze: ora questo tessuto cellulare che costituisce gli altri $^5/_6$ è composto di gelatina. Essa gelatina, all'opposto dell' albumina, è assai solubile nell' acqua calda, e ben poco nella fredda; dal che nasce il rappigliarsi che fa talora il brodo delle carni. Di questa sostanza, resa solida, è formata la colla animale.

Delle proporzioni determinate.

379. Si è detto superiormente che nelle vere combinazioni delle sostanze i componenti si uniscono in proporzioni determinate. Aggiungeremo ora diversi altri fatti analoghi, i quali tutti insieme costituiscono la dottrina *delle proporzioni determinate*, stata conosciuta solamente da poco tempo, e che aggiunge un grande peso al sistema degli atomisti.

Suole sovente una sostanza combinarsi con un'altra in più proporzioni diverse, come abbiamo già veduto dello zolfo coll'ossigeno (§ 327), dell'ossigeno stesso con diversi metalli (§ 366). Ora ha luogo in questi casi la singolare e notabilissima proprietà che *le diverse dosi di una data sostanza le quali si uniscono ad una medesima quantità di un' altra, sono fra loro nella ragione di numeri interi semplicissimi*, cioè come 1 a 2, come 1 a 3, come 2 a 3, e simili. Rechiamone qualche esempio.

Prendendo in peso 7,54 parti di carbonio, queste possono combinarsi o con 10 di ossigeno, e se ne ha l'ossido di carbonio; ovvero con 20 di ossigeno, e si ha l'acido carbonico.

Parti 20,11 di zolfo si combinano o con 20 di ossigeno e si ha l'acido solforoso, o con 30 e si ha l'acido solforico.

Il rame ha più ossidi; uno di questi è formato da 79,1 parti di rame con 10 di ossigeno, e si dice il *protossido*; un altro da 79,1 di rame con 20 di ossigeno, e si dice il *deutossido*.

380. Attribuisconsi questi fatti all'unirsi che fanno le molecole di una sostanza con quelle di un'altra, talora *una* con *una* per dare origine a una data combinazione, talora *una* con *due* per formare un'altra combinazione ove il secondo componente sia in proporzione doppia di peso, talora *una* con *tre*, ec. Si ammette, a cagion d'esempio, che il peso degli atomi o molecole delle sostanze seguenti sia nella proporzione de' numeri scrittivi a fianco:

Ossigeno	10
Azoto	17,7
Idrogeno	0,62
Carbonio	7,54
Zolfo	20,11
Rame	79,1 , ec.

In conseguenza di che, se ciascuna molecola p. e. di carbonio si combinerà con una sola molecola di ossigeno, si avrà una sostanza (e sarà l'ossido di carbonio), nella quale i due componenti si troveranno in peso come 7,54 a 10; se in vece ciascuna molecola di carbonio si comporrà con due di ossigeno, si avrà un'altra sostanza (l'acido carbonico), in cui i componenti saranno come 7, 54 a 20.

Lo stesso si dica dello zolfo; l'acido solforoso si suppone nascere dalla combinazione di un atomo di zolfo con due di ossigeno, per cui i componenti sieno nella proporzione di 20,11 a 20; e l'acido solforico da quella di un atomo di zolfo con tre di ossigeno, il che fa che i componenti sieno come 20,11 a 30.

Così è del rame; se si combina una molecola metallica con una di ossigeno si ha il protossido, e se con due il deutossido.

Citiamo per ultimo le cinque combinazioni che si conoscono dell'azoto coll'ossigeno:

Il protossido contiene in peso	17,7 d'azoto	e 10 d'ossigeno
Il deutossido	17,7	20
L'acido pernitroso	17,7	30
L'acido nitroso	17,7	40
L'acido nitrico	17,7	50

A formare le quali combinazioni si ammette che una molecola d'azoto si combini con una d'ossigeno, con due, con tre, con quattro, e con cinque rispettivamente.

381. Questa spiegazione, che dicesi la *dottrina degli atomi*, si sostiene anche nelle combinazioni delle sostanze composte. Per un esempio gli atomi dell'acido solforico in conseguenza della loro composizione si suppongono avere il peso relativo 50,11, e quelli del deutossido di rame 99,1. Ora nel solfato di rame sta l'acido solforico all'ossido di rame nella precisa proporzione di 100,22 a 99,1, appunto come se ciascuna molecola del secondo si trovi combinata con due del primo.

Ciò basti per noi, essendo sufficiente a mostrare quanto sia felice il sistema atomistico anche nella spiegazione dei fenomeni della Chimica. Aggiungeremo soltanto che i Chimici traggono dalle proporzioni determinate un grandissimo sussidio per le loro analisi, e che a questo oggetto hanno costrutte delle Tavole, ove si trovano registrati i pesi relativi degli atomi delle diverse sostanze sì semplici che composte.

382. Nella combinazione delle sostanze ha luogo un'altra proprietà notabilissima, ed è che se i componenti e il composto sono tutti e tre aeriformi, i due volumi de' componenti e quello del composto sono fra loro in una proporzione semplicissima; e se di queste tre sostanze ve n'abbiano due sole di gazose, sieno esse o le due componenti o una componente e la composta, ha luogo fra esse due la medesima proprietà. Eccone a maggior chiarezza alcuni esempii.

1 vol.	di vap. acqueo nasce	da ½ vol.	di ossigeno e da 1 di idrogeno
1	di gas ammoniaco . .	da ½	d'azoto e da 1 ½ di idrogeno
1	di gas acido idroclor.	da ½	di cloro e da ½ di idrogeno
1	di gas acido carbonico	da 1	d'ossigeno con un dato peso di carbonio
1	di ossido di carbonio	da ½	d'ossigeno collo stesso peso di carbonio
L'acido nitrico		da 1	d'azoto e da 2 ½ di ossigeno

Questa proprietà si crede dai Chimici che si riscontrerebbe fra tutte le sostanze, se potessero aversi allo stato aeriforme, e in essa consiste la *Teoria de' volumi* di Gay-Lussac.

Saggio sulla moderna nomenclatura chimica.

383. Dopo che nella Chimica vennero fatti de' meravigliosi progressi, videsi necessario di abbandonare i nomi incomodi e poco significanti usati anteriormente per le diverse sostanze, e di sostituire un linguaggio con cui venisse indicata la loro natura. Ciò venne mandato ad effetto in Francia verso il 1780 da Guyton-Morveau insieme con altri celebri Chimici di quella nazione, i quali introdussero una nuova nomenclatura stata adottata in seguito da tutta l'Europa, e che con qualche aggiunta e modificazione si continua ad usare anche presentemente. Di essa qual è usata oggidì ecco un breve saggio.

384. Alle sostanze semplici conosciute da molto tempo si conservarono i medesimi nomi che già avevano, variandone al più alcun poco la desinenza: continuarono, per esempio, ad usarsi le denominazioni di *zolfo*, *fosforo*, *oro*, *rame*, *mercurio*; il carbone depurato si disse *carbonio*, ec. Ma a ciascuna delle sostanze semplici scoperte di recente, e a cui si erano dati dei nomi complicati ed incomodi, si assegnò un nome nuovo, semplice, tratto per lo più dal greco, procurando che significasse qualche proprietà della sostanza. Così nacquero i nomi di *ossigeno*, di *idrogeno*, di *azoto*, ec.

E giacchè questa nomenclatura è principalmente fondata su particolarità gramaticali, noi possiamo notare che nella lingua italiana tutte le sostanze riguardate come semplici han nomi maschili e terminati per lo più colla vocale *o*.

385. Fra i composti si ritenne il nome di *acidi* a una classe di sostanze, per lo più formate da combinazioni dell'ossigeno, e dotate di sapore acido e di altri caratteri di cui si fece già parola (§ 365). E in

quanto ai nomi particolari, si denominarono per lo più da quella sostanza che li forma combinandosi coll'ossigeno, dando loro la desinenza *ico*, come acido *solforico*, acido *carbonico*, acido *fosforico*, ec. Che se una sostanza forma coll'ossigeno due diversi acidi, a quello che ne contiene meno si diede la terminazione in *oso*; p. e. acido *solforoso*, acido *nitroso*, ec. Ed essendovi altre gradazioni, queste si espressero col premettere le preposizioni *ipo* ovvero *per*: p. e., lo zolfo forma coll'ossigeno quattro acidi, cioè l'*iposolforoso*, il *solforoso*, l'*iposolforico*, il *solforico*. Per que' pochi acidi che nascono dall'idrogeno, si antepose ai lor nomi la parola *idro*; così si dissero *gas acido idrosolforico*, *acido idroclorico*, le combinazioni acide dello zolfo e del cloro coll'idrogeno. E riguardo a quelli di base sconosciuta, o di origine organica, si convenne solamente di dar loro la desinenza in *ico*, dicendo acido *fluorico*, acido *acetico*, acido *citrico*.

386. Si disse più sopra (§ 366) a quali sostanze siasi dato il nome di *ossidi*. Qui aggiungeremo che se una sostanza può avere coll'ossigeno più combinazioni non acide, queste si espressero coi nomi di *protossido*, *deutossido*, *tritossido*, ec. dandosi il primo nome a quella che contiene la minima dose d'ossigeno, il secondo, il terzo, ec., a quelle che ne contengono dosi successivamente maggiori. Così il rame ha il suo protossido, il deutossido, il tritossido, ec.

387. Si conservò il nome di *alcali* a diverse sostanze dotate della facoltà di rinverdire alcune tinture vegetabili, e di altri caratteri già precedentemente esposti (§ 367). I loro nomi proprii, almeno nella nostra e in alcune altre lingue sono tutti femminili; e quelli del regno vegetabile che si vanno scoprendo (§ 373) si prese il costume di terminarli in *ina*: *morfina*, *chinina*, ec.

388. Per esprimere le combinazioni non gazose de' combustibili non metallici con le diverse sostanze, si

diede ai nomi dei primi la terminazione in *uro*, aggiungendo inalterati i nomi delle seconde in secondo caso: p. e. *carburo di ferro*, *sulfuro di rame*, *cloruro di sodio*. Quando poi ambedue i componenti sono combustibili non metallici, si lasciò all'arbitrio lo scegliere quello a cui dare la desinenza in *uro:* così la combinazione dello zolfo col carbonio si può indifferentemente chiamare *carburo di zolfo*, o *sulfuro di carbonio*.

389. Quando un combustibile semplice aeriforme combinandosi con un'altra sostanza semplice qualsivoglia produce una combinazione ancora aeriforme, si convenne di dare a quest'ultima il nome del primo, aggiungendovi quello della seconda a modo di aggettivo e colla desinenza in *ato:* p. e. gas *idrogeno carburato*, gas *idrogeno fosfurato*, gas *azoto carburato*.

390. I sali che nascono come vedemmo (§ 369) dalla combinazione degli acidi cogli ossidi metallici, cogli alcali, e colle terre, si denominarono col nome dell'acido desinente in *ato*, soggiuntovi in secondo caso il nome del metallo cui appartiene l'ossido, o il nome dell'alcali, o quello della terra; p. e. si disse *solfato di ferro*, *carbonato di calce*, *acetato di piombo*. Che se il sale viene da uno di quegli acidi che hanno la desinenza in *oso*, in vece della terminazione in *ato*, si usò quella in *ito*, p. e. *sulfito di potassa*.

TAVOLA

DELLE GRAVITÀ SPECIFICHE DI VARIE SOSTANZE

SOSTANZE SOLIDE

Presa per unità la gravità specifica dell'acqua, e fatte le esperienze a +18° C.

Platino passato dal laminatojo	22,0690
passato dalla trafila	21,0417
lavorato col martello	20,3366
semplicemente depurato	19,50
Oro lavorato col martello	19,3617
fuso	19,2581
Tunsteno	17,6
Mercurio (a 0.°)	13,598
Piombo fuso	11,3523
Palladio	11,3
Rodio	11,0
Argento fuso	10,4743
Bismuto fuso	9,822
Rame ridotto in fili	8,8785
fuso	8,7880
Molibdeno	8,611
Ottone	8,395
Arsenico	8,308
Nikel fuso	8,279
Uranio	8,1
Acciajo non lavorato	7,8163
Cobalto fuso	7,8119
Ferro in barre	7,7880
Stagno fuso	7,2914
Ferro fuso	7,2070
Zinco fuso	6,861
Antimonio fuso	6,712
Tellurio	6,115
Cromo	5,9
Iodio	4,9480

Spato pesante	4,43
Giargone del Ceylan	4,4161
Rubino orientale	4,2833
Zaffiro orientale	3,9941
Zaffiro del Brasile	3,1307
Topazio orientale	4,0106
Topazio di Sassonia	3,5640
Berillo orientale	3,5489
Diamanti, i più pesanti d'un leggiero color di rosa	3,5310
Gli stessi, i più leggieri	3,5010
Flint-glass inglese	3,3293
Spato fluore rosso	3,1911
Tormalina verde	3,1555
Asbesto non flessibile	2,9958
Marmo di Paros (carbonato di calce lamellare)	2,8376
Quarzo-diaspro onice	2,8160
Smeraldo verde	2,7755
Perle	2,7500
Carbonato di calce cristallizzato	2,7182
Quarzo-diaspro	2,7101
Corallo	2,680
Cristallo di rocca puro	2,6530
Quarz'-agata	2,615
Feldspato limpido	2,5644
Vetro della fabbrica Saint-Gobain	2,4882
Porcellana chinese	2,3847
Solfato di calce cristallizzato	2,3117
Porcellana di Sèvres	2,1457
Zolfo nativo	2,0332
Sal comune	1,918
Avorio	1,9170
Antracite	1,8
Allume di rocca	1,720
Legno di guajaco	1,333
Carbon fossile compatto	1,3292
Gagate	1,259
Ebano	1,177
Succino	1,078
Sodio	0,9726
Cera	0,954 a 0,960

Ghiaccio			0,930
Potassio			0,8651
Legno di bosso			1,014
di quercia	0,93	a	1,057
di faggio			0,852
di frassino			0,845
di tasso			0,807
di olmo			0,800
di melo			0,733
di melarancio			0,705
di abete giallo			0,657
di tiglio			0,604
di cipresso			0,598
di cedro			0,561
di pioppo bianco di Spagna			0,529
di sassafras			0,482
di pioppo comune			0,383
Sughero			0,240

LIQUIDI

Acido solforico			1,8409
Acido nitroso			1,550
Acqua del mar Morto			1,2403
Acido nitrico			1,2175
Sangue umano			1,053
Latte di vacca			1,032
Acqua del mare			1,0263
Acqua di pozzo	fino	a	1,003
Acqua distillata Acqua di pioggia			1,0000
Vino di Bordeaux			0,9939
Vino di Borgogna			0,9915
Olio d'ulivo			0,9153
Etere muriatico			0,874
Olio essenziale di trementina			0,8697
Nafta			0,8475
Alcool assoluto			0,792
Etere solforico			0,7155

FLUIDI AERIFORMI

Paragonati all'aria.

Aria	1,0000
Vapore d'essenza di trementina	5,0130
Vapore di etere solforico	2,5860
Cloro	2,470
Cianogene (azoto carburato)	1,8064
Vapore di alcool assoluto	1,6133
Gas acido carbonico	1,524
Gas ossigeno	1,1026
Gas azoto	0,976
Vapore acqueo, dall'esperienza	0,6235
dal calcolo	0,624
Gas idrogeno	0,0688

TAVOLE

DI ALCUNI DE' PRINCIPALI ELEMENTI DEL SISTEMA SOLARE

I. Sole, Pianeti primarii, Comete

Nomi de' corpi celesti.	Diametro equatoriale espresso in diametri terrestri equatoriali.	Volume	Massa	Densità	Durata delle rotazioni intorno a se medesimi, in giorni ed ore di tempo medio.	Distanze dal Sole in semidiametri terrestri equatoriali.	Rivol... sidere... torno... le in... medi...
					gior. or. m. sec.		
Sole.	110,50333	1353794	343817	0,254	25. 9. 36.	. . . .	. . . .
Mercurio	0,34540	0,041343	0,162	3,925	24. 5. 30	91178	87,9...
Venere	0,95402	0,871170	0,964	1,107	23. 21. 19	171149	224,6...
Terra (*)	1,00000	1,000000	1,000	1,000	23. 56. 4,09	23709	365,2...
Marte	0,52471	0,135881	0,135	0,994	24. 39. 22	36125	686,977
Vesta.	0,043	1/12600	. . . . .	. . .	. . . . .	56002	1325,99
Giunone	0,180	1/173	. . . . .	. . .	. . . . .	63255	1591,77
Cerere	0,204	1/117	. . . . .	. . .	. . . . .	65608	1681,40
Pallade	0,264	1/54	. . . . .	. . .	. . . . .	65632	1682,34
Giove.	10,57988	1103,277	322,20	0,292	9. 55. 33	123351	4332,5...
Saturno.	8,55805	576,450	97,80	0,170	10. 16. 0	226149	10758,977
Urano	4,30632	80,121	17,63	0,220	. . . . .	454814	30688,7...
Cometa di Enke.	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . .	. . . . .	52726	1211
Cometa di Biela.	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . .	. . . . .	84571	2461

(*) Le misure più recenti e più accurate delle dimensioni del globo terrestre danno lo schiacciamento ai... (la differenza fra il diametro ai poli e il diametro all'equatore) uguale a 1/310 del diametro ai poli; da... il diametro all'equatore uguale a 12753218 metri, e il diametro ai poli uguale a 12712430 metri. Il me... stabilito in Francia dalle leggi sul fine del secolo scorso, è il diecimilionesimo della lunghezza dell'a... terrestre compreso fra i poli e l'equatore, quale è risultata dalle misure fatte verso la fine del se... medesimo, ed equivale a tese 0,513074.

II. Pianeti secondarii

i de' pianeti ondarii.		Diametro in parti del diametro equat. del pianeta primario.	Volume rispetto al pianeta.	Massa rispetto al pianeta.	Densità rispetto al pianeta.	Distanze medie dal pianeta primario in semidiametri del pianeta stesso.	Tempi della rivoluzione intorno al pianeta in giorni medii.	
.....		3/11	1/50	1/80	5/8	60,318	27,32167	
di Giove	I.	1/34	1/41865	0,00001720	0,72	5,813	1,76914	
	II.	1/42	1/74512	0,00002571	1,76	9,249	3,55118	
	III.	1/24	1/13686	0,00008721	1,19	14,758	7,15456	
	IV.	1/34	1/40450	0,00005447	2,20	25,947	16,68877	Delle rotazioni intorno a se medesimi non si conosce che quella della Luna, che è della stessa durata della sua rivoluzione media intorno alla Terra.
di Saturno	I.	...	.....	.....	...	3,080	0,94271	
	II.	...	.....	.....	...	3,952	1,37024	
	III.	...	.....	.....	...	4,893	1,88280	
	IV.	...	.....	.....	...	6,268	2,73948	
	V.	...	.....	.....	...	8,754	4,51749	
	VI.	...	.....	.....	...	20,295	15,94530	
	VII.	...	.....	.....	...	59,154	79,32960	

di Saturno ..... in parti del diametro equat. di Saturno

metro esterno dell'anello esterno 2,2286

metro interno dell'anello interno 1,4823

di Urano	I.	...	.....	.....	...	13,120	5,8926
	II.	...	.....	.....	...	17,022	8,7068
	III.	...	.....	.....	...	19,845	10,9611
	IV.	...	.....	.....	...	22,752	13,4559
	V.	...	.....	.....	...	45,507	38,0750
	VI.	...	.....	.....	...	91,008	107,6944

INDICE

DELLE SEZIONI E DE' CAPITOLI

COMPRESI IN QUESTO PRIMO VOLUME

Al benigno lettore . . . . . *pag.* III
Introduzione . . . . . » 1

SEZIONE PRIMA

DELLE PROPRIETÀ PIÙ GENERALI DE' CORPI

Capo I. Nozioni preliminari . . . . . » 11
II. Dell'Estensione, e di diverse proprietà e nozioni da essa dipendenti . . . . . » 16
III. Di altre proprietà e nozioni dipendenti dall'Estensione. . . . . » 28
IV. Dell'Impenetrabilità. . . . . » 38
V. Della Mobilità . . . . . » 42

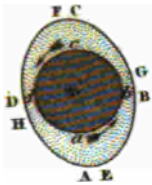
SEZIONE SECONDA

DELL'ATTRAZIONE

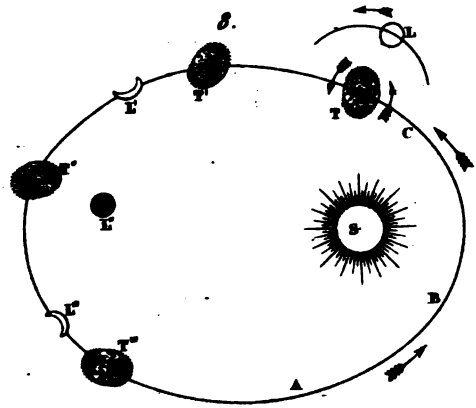
Capo I. Dell'Attrazione in genere, dell'Attrazione universale, e in particolare degli effetti della Gravità . . . . . » 55
II. Delle Attrazioni vicendevoli dei corpi situati sulla superficie terrestre . . . . . » 62
III. Dei Moti celesti . . . . . » 65
IV. Del Flusso e Riflusso del mare . . . . . » 82
V. Dell'Attrazione molecolare, e de' suoi effetti e in ispecie dell'Adesione . . . . . » 90
VI. Cenni sui principali effetti fisici del Calorico, ad intelligenza de' fenomeni dell'Attrazione molecolare . . . . . » 97
VII. Della Coesione . . . . . » 103
VIII. Dell'Elasticità . . . . . » 119
IX. Della Cristallizzazione . . . . . » 126

Capo X. Degli effetti dell'Attrazione molecolare nei fluidi, e in ispecie dei fenomeni dei tubi capillari *pag.* 145
XI. Delle Affinità chimiche . . . . . » 173
XII. Brevi nozioni sulle sostanze semplici e composte . . . . . » 199
Tavola delle gravità specifiche di varie sostanze . . . . » 228
Tavole di alcuni de' principali elementi del Sistema solare . . . . . » 232

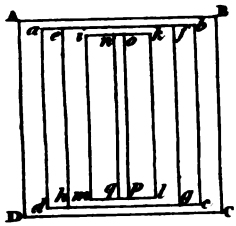
7.



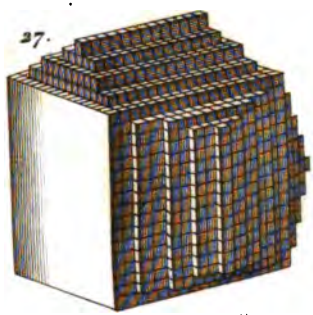
8.



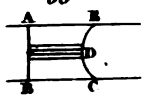
26.



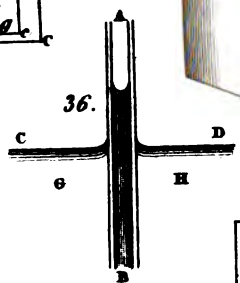
27.



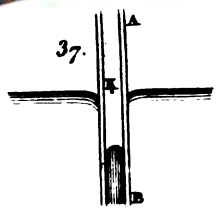
33



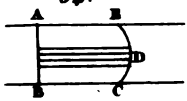
36.



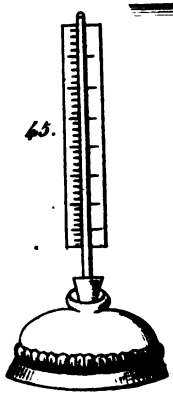
37.



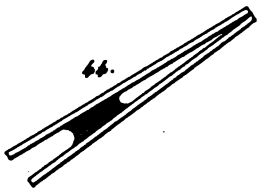
34.



43.



44.



CORSO ELEMENTARE

DI

FISICA SPERIMENTALE

DI

GIUSEPPE BELLI

PROFESSORE DI FISICA

NELL'I. R. LICEO DI PORTA NUOVA IN MILANO

VOL. II.

MILANO

DALLA SOCIETÀ TIPOGRAFICA DE' CLASSICI ITALIANI

MDCCCXXXI

AL LETTORE

In questo secondo volume, nel quale si espongono le proprietà del Calorico, ho trattato le materie in una maniera alquanto più diffusa di quello che io feci nel volume precedente; al che mi hanno spinto parecchie ragioni le quali ho stimato conveniente di far note ai leggitori.

Una di cotali ragioni è la grande importanza di queste dottrine, le quali sono tutte importantissime tanto per gli usi della vita quanto per la spiegazione de' fenomeni della natura; e ben lungi dall'esservene fra esse di quelle oziose e che aspettino in altro tempo le utili applicazioni, esse sono anzi manchevoli in molte parti da quanto occorrerebbe pe' nostri bisogni. Ho pertanto creduto utile di fare, per quanto ho potuto, una copiosa raccolta di materiali, non solo approfittando degli altri trattati che si posseggono sullo stesso soggetto, ma eziandio prendendo molte cose da altre opere e specialmente dalle memorie inserite ne' Giornali scientifici. Ho anche toccato quelle parti ove non abbiamo ancora che nozioni imperfette, procurando di esporre quel tanto che ne sappiamo. Nel che ho avuto altresì di mira un altro scopo, quello cioè di far sentire il bisogno in cui si trova la scienza di certe cognizioni importanti, e di indurre in altrui il desiderio di riempiere qualcuna di tali lacune.

A questa prima ragione si aggiunge, che le proprietà del Calorico sono di tale natura che non basta il porre alcuni principii fondamentali per potere da questi colla sola forza del raziocinio, come avviene nell' Ottica e

nella Meccanica, dedurre con sicurezza le più lontane conseguenze. Ma i fenomeni vengono qui continuamente modificati dalle particolari circostanze in cui si trovano i corpi; ond' è che il Lettore, se ha da formarsi idee esatte de' fatti, non dee mai essere abbandonato a se, ma dev' essere guidato dappertutto e istruito di tutte le particolarità dei fatti medesimi. Questa considerazione ha fatto sì che io sia stato piuttosto prolisso nella esposizione delle cose. Pare a dir vero che ciò non s' accordi coll' intenzione di adattare questo Corso all' insegnamento scolastico, pel quale sembra che potevano bastare de' brevi cenni i quali venissero poi sviluppati da' Precettori, come si è praticato nel primo volume. Ma ho considerato che avendo io con molta fatica raccolte qua e là assai cose che non si trovano ancora esposte nei comuni trattati, poteva forse riuscir grata cosa anche ai Precettori di questa scienza il presentar loro con certo ordine e con certa estensione il frutto di questa mia fatica, e loro risparmiare la pena di dover ricorrere alle stesse fonti e di rinnovare in gran parte la fatica medesima.

Temo nulladimeno che il Lettore trovi alcune volte ch' io avrei potuto usare maggiore brevità, e che col molto sminuzzare ho piuttosto reso alcune dottrine più faticose ad apprendersi. Se qualche volta io fossi incorso in questo scoglio, io prego il benevolo Lettore a risovvenirsi che ciò fu pel desiderio di sfuggire un altro scoglio assai peggiore, cioè di non essere ben inteso, specialmente in certe materie non ancora ben conosciute nelle quali non mi pareva sufficiente il dare soltanto delle leggiere indicazioni.

Affinchè poi il volume non ingrossasse a dismisura, sono stato parchissimo nella parte storica, vale a dire nella esposizione delle varie ipotesi proposte dai diversi autori per dar ragione de' fenomeni. Allorquando le spiegazioni che si danno oggidì si hanno per sicure, io non ho fatto nessun caso delle ipotesi anti-

che ed abbandonate. Solamente in quelle materie ove i Fisici non sono ancora d' accordo ho riportato più d' una spiegazione, però con quella parsimonia che mi è parsa richiesta dal maggior vantaggio degli scolari, avendo sempre presente che alla generalità di questi importa sapere come le cose veramente sieno, e non già come di esse si sia pensato ne' varii tempi.

Per rendere più intelligibili e più gradite le dottrine che sono andato esponendo, come anche per farne vieppiù conoscere l'importanza, ho frequentemente introdotto, come ho fatto nel primo volume, delle applicazioni ai bisogni della vita e ai varii fenomeni naturali, e specialmente alla Meteorologia. Però ho recate queste applicazioni senz' ordine, e come meglio si adattavano alle dottrine medesime, e senza trattarle con quell' estensione ch' esse meriterebbero volendone parlar di proposito, stantechè ciò m' avrebbe ad ogni passo tratto fuori del mio cammino. Ho voluto avvertir questo, affinchè il Lettore non si meravigli al vedere, che ragionando delle nuvole io non abbia esposta per intero la metodica loro classificazione immaginata da Howard, che facendo un qualche cenno del fenomeno della grandine io non abbia parlato della celebre ipotesi di Volta, ec.

Ho continuato a far uso di un minor carattere per le materie più difficili, procurando di regolarmi in maniera che si possa senza queste intendere quello che è stampato in carattere più grande. Però anche nelle cose esposte con quest' ultimo carattere ho supposto che il Lettore possegga già alcune cognizioni riguardo al Calorico, che conosca, p. e., i Termometri, che sappia che il Calorico dilata i corpi, che li fa cangiare di stato, ec., cose tutte che si trovano accennate nel primo volume. Con ciò ho potuto trattare le diverse dottrine con metodo più libero, e dar loro fin dal principio la conveniente estensione.

Tali sono le norme che m' hanno guidato nel comporre il volume. Possa questo riuscir realmente vantaggioso al Pubblico, e meritarne una favorevole accoglienza.

SEZIONE TERZA

DEL CALORICO

CAPO PRIMO

DE' PRINCIPII IMPONDERABILI IN GENERE, DEL CALORICO, E DELLE SUE SORGENTI

391. Oltre alle proprietà possedute costantemente dai corpi in qualsivoglia circostanza e che noi riguardiamo come inerenti alla materia pesante, ve n'hanno altre moltissime che questa materia non ci presenta se non se in alcune circostanze particolari, o almeno ch' ella non ci mostra sempre colla medesima intensione, potendo ora assumerle ed ora deporle, ora manifestarle più deboli ed ora più intense. Sono di questa natura le proprietà che hanno relazione col calore: un corpo medesimo può essere ora freddo ed ora caldo, può avere un volume ora maggiore ed ora minore, può essere allo stato solido e dopo passare al liquido od all' aeriforme. Tali sono altresì le proprietà che si riferiscono alla luce: alle volte un corpo il veggiamo splendidisimo, ed alle volte oscuro; esposto alla libera luce del Sole potrà essere bianco, mentre illuminato da raggi che abbiano attraversato un vetro prismatico ci parrà rosso o verde o d'altro colore. Simili sono altre due classi di proprietà, le proprietà elettriche cioè e le proprietà magnetiche.

Tali proprietà accidentali e passeggiere si attribuiscono alla presenza di alcuni agenti, i quali possono esistere nei corpi più o meno abbondantemente, vi si possono muovere, e (ad eccezione forse di un solo

cioè del *Magnetico*) entrarvi ed abbandonarli. Si chiamano questi agenti col nome di *Principii imponderabili*, e se ne contano quattro cui vengono dati i nomi particolari di *Calorico*, *Elettrico*, *Magnetico*, *Luce*.

392. L'intima essenza di questi agenti è ancora oltremodo oscura. V'ha chi li riguarda come sostanze particolari che possano esistere da sè indipendentemente dalla materia pesante; e v'ha in vece chi li crede consistere, almeno una parte, in istati particolari che questa materia può acquistare senza che verun'altra cosa vi si associi. È però invalso il costume, per una maggiore comodità di linguaggio, di ragionarne come di cose esistenti da sè; e noi pure ci uniformeremo a questo uso.

Hanno essi molte proprietà in comune: sono tutti, per quanto i sensi ci lasciano scoprire, privi di peso, penetrabili attraverso ai corpi, dotati di una estrema mobilità non mostrando bisogno di verun nostro sforzo sensibile nè per essere mossi nè per essere posti in quiete, e non sembrano possedere fra le proprietà materiali che l'estensione e la mobilità. Oltre a questi generali caratteri che li distinguono dalle sostanze pesanti, hanno essi fra loro molte altre analogie e rassomiglianze; il che induce molti a dubitare che non sieno tutti essenzialmente diversi l'uno dall'altro, ma che alcuni sieno semplicemente delle modificazioni di altri; per esempio, che la Luce non sia che una modificazione del Calorico.

Questi agenti sogliono produrre sui corpi un grandissimo numero di effetti, de' quali è importantissima la cognizione. Noi ci faremo ad esporli nelle seguenti quattro sezioni, colla brevità però voluta in un insegnamento elementare; e cominceremo dal Calorico, siccome quello la cui azione sulla materia pesante è più efficace, ed anche più necessaria a conoscersi.

Nozioni generali sul Calorico.

393. Appellasi *Calorico* la *cagione che in noi produce la sensazione del calore.* Quando nell'accostare una mano al fuoco o nel toccare con essa un corpo caldo noi ne riceviamo una siffatta sensazione, ammettesi che nella mano medesima entri un particolare principio imponderabile atto a modificarne in una particolar guisa le fibre e con ciò a dar origine a quella sensazione; e questo principio viene appellato il *Calorico.*

Sulla natura di esso sonovi fra i Fisici principalmente due opinioni. Alcuni lo considerano come una sostanza particolare, invisibile, imponderabile, mobilissima, penetrantissima, e incoercibile, che emani dai corpi riscaldati trascorrendo lo spazio in linea retta a modo della luce, e che abbia facoltà di penetrare e fermarsi nei corpi tutti producendo in essi la dilatazione e diversi altri effetti. Altri all'incontro riguardano un corpo riscaldato siccome dotato nelle sue particelle elementari di un minimo e velocissimo movimento oscillatorio o tremore, il quale da quella parte del corpo ove sia incominciato si propaghi e si diffonda a tutte le parti rimanenti, si comunichi ai corpi che sono in immediato contatto, e alle superficie libere si trasmetta ad un fluido sottilissimo imponderabile appellato l'*etere*, il quale si suppone circondare ed involgere tutti i corpi dell'universo, e col mezzo di cui si comunichi in distanza dall'un corpo all'altro (*). In entrambe le opinioni si può dare compiuta spiegazione di tutti i fenomeni conosciuti, ad eccezione di alcuni pochissimi, come vedremo più innanzi. Il perchè, essendo giovevole l'appigliarci ad una di esse per poterci formare una più

(*) Haüy, *Physique*, t. I, § 138, 139, 182.

chiara idea de' fenomeni, ed essendo la prima più facile a concepirsi e più comoda, nei nostri ragionamenti farèmo generalmente uso di questa, riguardandola però sempre qual semplice ipotesi.

Nel trattare del calorico noi terremo l'ordine seguente. Cominceremo a parlare delle diverse sorgenti dalle quali esso può provenire; verremo quindi alle proprietà ch' esso possiede considerato in se stesso, sia che esso si trovi stazionario nei corpi, sia ch' esso vi si muova o propaghi; finalmente diremo degli effetti che esso produce nei corpi medesimi.

Delle sorgenti del Calorico in genere.

394. Le sorgenti del Calorico si possono ridurre a tre classi:

1.ª I raggi solari, e le irradiazioni calorifiche degli altri corpi esteriori al globo;

2.ª I diversi processi chimici, fisici, e meccanici, co' quali si può produrre calore alla superficie terrestre, vale a dire: la combustione e le altre combinazioni chimiche, le mescolanze chimiche, la condensazione, la percussione, lo sfregamento, il passaggio del fluido elettrico;

3.ª Il calore proprio e centrale del globo terrestre.

Dei Raggi solari liberi.

395. Prescindendo dal calorico che il nostro globo riceve dai corpi estranei al sistema solare, e sul quale non si hanno ancora ben chiare nozioni, la sorgente primaria del calorico che vi ha alla superficie terrestre è quella dei raggi solari. Pochissimo verrebbe a raffreddarsi questa superficie, se cessassero tutti i processi naturali che possono somministrarlo, e insieme mancasse il calor centrale; laddove tutto sarebbe assiderato e morto se ci abbandonasse il calore vivifi-

cante del Sole. È questo quello che mantiene allo stato liquido le acque, che fa esalare in alto i vapori i quali poscia ricadono in benefiche pioggie, che fa sciogliere alla state le nevi dei monti e che tiene con ciò alimentati i fiumi per innaffiare le campagne, che fa vegetare gli alberi e le erbe, e che sostiene in vita gli animali.

396. L'azione riscaldante dei raggi solari ci si manifesta continuamente e in molti modi. Ne sentiamo gli effetti ogni volta che noi siamo direttamente percossi da questi raggi, ogni volta che tocchiamo o ci appressiamo a corpi che sieno stati esposti qualche tempo al Sole. Per questa azione il giorno, specialmente in stagione serena, è più caldo della notte. E non solo hanno facoltà di riscaldare i raggi solari diretti; ma eziandio quelli che arrivano a noi ripercossi dalle nubi, dall'aria, dalle muraglie, ec.

397. Una condizione però necessaria affinchè i raggi solari riscaldino si è ch' essi vengano *assorbiti*, vale a dire che sieno ritenuti dai corpi senza nè attraversarli nè venirne rimandati indietro. I corpi bianchissimi e quelli che sono limpidissimi pochissimo si riscaldano, laddove si scaldano assai quelli che sono opachi e neri: la neve vien fatta liquefare più presto se si asperge di terra nera, e le foglie e i ramuscelli d'alberi e gli altri corpi oscuri che vi cadono sopra, la scavano e vi discendono in pochi giorni profondamente; le stoffe bagnate s'asciugano molto lentamente se sono bianchissime.

De' Raggi solari concentrati.

398. L'azione de' raggi solari si rende oltremodo più energica quando vengano concentrati. Per la quale concentrazione vi sono principalmente tre mezzi; gli specchii ustorii, le lenti ustorie, la cassetta proposta da Saussure.

Gli specchii metallici concavi rivolti contro il Sole fanno che i raggi provenienti da quest' astro in direzioni parallele vengano rimbalzati indietro secondo linee convergenti e si raccolgano tutti in un brevissimo spazio, incrocicchiandosi ivi e poscia divergendo nuovamente. Essendo intensissima in questo breve spazio l'azione di tali raggi chiamasi esso il *foco*, e a cotali specchii per gli effetti che sono atti a produrre si dà il nome di specchi *ustorii*.

Quando questi specchii siano di concavità sferica e si trovino rivolti dirittamente contro il Sole, in modo cioè che congiungendo il punto centrale dello specchio col centro della superficie sferica di cui esso specchio è parte, si abbia una retta parallela ai raggi solari, in tal caso il foco ritrovasi alla metà di questa retta. Però non tutti i raggi che cadono su di uno specchio sferico vengono a riunirsi in questo punto; ma alcuni, quelli in ispecie che cadono vicini alla circonferenza, lo schivano alquanto, passando per altri punti della menzionata retta più vicini allo specchio. Veggasi la fig. 1. Tav. I, dove MAN rappresenta lo specchio sferico, A il suo centro, O il centro della sfera a cui lo specchio appartiene, F il punto di mezzo del raggio OA; Pp, Qq, Rr, ec., diversi raggi luminosi paralleli al raggio OA, de' quali que' che cadono sullo specchio presso al punto A, si uniscono prossimamente in F, ma quei che cadono verso l'orlo si incrocicchiano fra F ed A. Affinchè tutti i raggi (quelli cioè a parlar rigorosamente che partono dal centro del disco solare) si raccolgano in un punto unico, debbono essi specchii essere parabolici coll'asse rivolto nella direzione de' raggi luminosi, nel qual caso il foco della parabola è altresì foco de' raggi riflessi. Veggasi la fig. 2.

Il massimo effetto calorifico si ha nel luogo del foco: oltrepassato questo, i raggi tornano a divergere, e l'azione si indebolisce. L'azione calorifica poi in

questo foco, se venissero riflettuti indietro tutti i raggi che arrivano allo specchio, sarebbe tante volte più grande di quella de' raggi diretti quante volte l'area del foco è più piccola della sezione trasversale del fascio de' raggi incidenti: ma l'effetto reale suol essere un po' minore, giacchè il terzo o il quarto di questi raggi viene ad essere assorbito dallo specchio (1).

399. Si sono in varii tempi costruiti diversi specchii di effetti veramente sorprendenti. Noi ne citeremo alcuni de' più famosi (2).

Uno specchio parabolico costruito dal Canonico Settala di Milano, poteva, al dire del P. Schott, accendere il legno ad una distanza di 15 a 16 passi.

Verso il 1670 un artefice di Lione chiamato Villette ne costrusse tre, uno de' quali aveva il diametro di 30 pollici, ed era sì possente che all'istante accendeva i legni verdi, in pochi secondi fondeva l'oro e l'argento, e in un minuto primo arrivava a fondere i mattoni, le pietre focaje, ed altre materie vetrificabili.

Più grande e più possente fu quello fatto costruire dal Barone di Tschirnhausen verso il 1687; esso era formato d'una lamina metallica del diametro di 5 piedi e 3 pollici (metri 1,7), e giungeva a vetrificare de' pezzi di crogiuolo che avevano resistito al fuoco de' più violenti fornelli.

M. Bernières ne facilitò la costruzione, immaginando di farli con calotte di vetro amalgamate dalla parte convessa; e ne costrusse uno pel Re di Francia del diametro di 42 pollici, stato presentato nel 1757. Sono questi per più riguardi migliori dei precedenti, cioè dei metallici; riflettono una luce più viva, e osservano meglio il pulimento.

(1) Biot, *Traité de Physique*, t. IV, p. 778.

(2) Veggansi le *Récréations mathématiques et physiques par Ozanam*. Paris, 1790, t. II, p. 210.

Narrasi da alcuni storici che Archimede per mezzo di uno specchio abbia abbruciata la flotta dei Romani ancorata davanti a Siracusa. Molti trovano difficilissimo che si sia potuto costruire un tale specchio, segnatamente a que' tempi, e pongono il fatto in dubbio. Sarebbe però la cosa stata possibile usando molti specchii piani, che avessero riflettuta la luce in un sol luogo. In fatti Buffon nel 1747 avendo fatta costruire una macchina con 168 specchii piani, larghi 6 pollici ciascuno ed alti 8, e mobili per tutti i versi, riuscì ad abbruciare il legno a 200 piedi di distanza, a fondere lo stagno a 150 piedi, l'argento a 60, ec. (*).

400. Le lenti convesso-convesse piegano i raggi luminosi che le attraversano, facendoli convergere ed unire in un brevissimo spazio detto pur *foco*. Quanto più grandi esse sono e corta la distanza focale, tanto maggiori riescono gli effetti; giacchè la prima di queste circostanze fa che sieno più copiosi i raggi incidenti, e la seconda fa che sia più piccolo il diametro del foco in cui si raccolgono. Siccome però volendo piccola la distanza focale conviene accrescere la convessità e la grossezza delle lenti, con che esse divengono molto opache ed assorbono molta luce, così si è immaginato di incominciare a far passare i raggi da una lente grande e sottile, e dopo usciti da questa e già alquanto concentrati riceverli su di una seconda lente minore; questa raccorciando notabilmente la distanza focale, impiccolisce il diametro del foco, e rende l'azione più energica. Veggasi la fig. 3. Gli effetti poi di queste lenti, dette *ustorie*, sono i medesimi di quelli degli specchii concavi. Le lenti più famose che sieno state costruite sono:

Le lenti solide di Tschirnhausen, una delle quali aveva tre piedi di diametro;

(*) Memorie dell'Accademia di Parigi. 1747, p. 82, e 1748, p. 305.

Le lenti di Bernières costruite con due vetri concavo-convessi combaciati esattamente nel contorno, e collo spazio di mezzo riempiuto di acqua distillata o di spirito di vino. Una di queste fabbricata per M. Trudaine aveva quattro piedi di diametro;

Quella di Parker del diametro di tre piedi e mezzo, fabbricata di flint-glass.

Si è recentemente messo in esecuzione in Francia il pensiero di Buffon riprodotto poscia dal Fresnel, di costruire le lenti ad anelli concentrici o a *gradinate* (vedi fig. 4). A questo modo le grandi lenti riescono più facili a costruirsi e a maneggiarsi, e paragonate con quelle di cristallo solido si trovano molto più efficaci, essendo più sottili nel mezzo e quindi più trasparenti, e potendosi altresì con esse ottenere una più precisa concentrazione de' raggi luminosi (1).

Si potrebbero costruir lenti ustorie (di breve durata in vero) anche con ghiaccio, scegliendone de' pezzi ben trasparenti e foggiandoli regolarmente in forma di lenti convesse; queste sono atte anch' esse ad accender legne e a produrre altri effetti calorifici, con sorpresa di chi per la prima volta vegga il fenomeno.

401. Saussure riuscì a concentrare notabilmente i raggi solari esponendo al Sole una cassetta di abete, foderata internamente di sughero, dipinta in nero nell' interna superficie, e coperta alla bocca con più vetri posti a qualche distanza l' uno dall'altro (2). I raggi di luce che vi entravano, venivano assorbiti dalla superficie nera, scaldavano le pareti della cassetta e l'aria contenuta, senza che poi il calore potesse facilmente uscirne. Non è dissimile il metodo de' coltivatori di frutti, i quali per tenere caldi gli arbosoelli, sogliono coprirli con campane di vetro.

402. Sulla ragione della facoltà di riscaldare che i

(1) *Enciclopédie Méthodique, Physique.* t. IV, p. 815.
(2) *Voyages dans les Alpes.* § 932.

raggi solari posseggono, non sono i Fisici d'accordo. Ritengono alcuni che la luce e il calorico sieno due cose distinte, che i raggi solari sieno una unione di raggi luminosi e di raggi calorifici, e che gli uni e gli altri attraversino insieme i mezzi diafani, vengano insieme concentrati dalle lenti e dagli specchii, insieme vengano riflettuti dai corpi bianchi e lucenti, e insieme finalmente vengano assorbiti dai corpi opachi ed oscuri; assorbiti poi che sieno, quelli della luce cessino di essere sensibili, senza che di essi si sappia più oltre, e i calorifici si trattengano nel corpo assorbente e il riscaldino. Altri al contrario ammettono che la luce e il calorico sieno una medesima cosa diversamente modificata, sia poi questa o una sostanza materiale o un moto di tremore; e dicono che i raggi solari arrivano a noi in istato di luce, e che in questo attraversano i mezzi trasparenti, vengono riflettuti dai corpi bianchi e lucenti, e sono assorbiti dai corpi opachi ed oscuri; ma che entro a questi ultimi perdono un tale stato di luce ed assumono quello di calorico, e così li riscaldano. Con ciò danno ragione perchè un corpo esposto ai raggi solari possa assorbire una quantità indefinita di luce senza restituirla giammai; e perchè i raggi medesimi non mai producano calore se non allorquando la loro luce scompare.

De' Raggi lunari, e delle altre sorgenti di calore esteriori al globo terrestre.

403. Venendoci una notabile quantità di luce anche dalla Luna, si è dubitato che questa ci possa altresì mandare del calore. Ma le più diligenti osservazioni non trovarono veruno effetto sensibile, nè concentrando i raggi lunari con lenti e specchii fortissimi, nè ricevendoli così concentrati sopra sensibilissimi stromenti. Ciò in vero era cosa da aspettarsi, giacchè col calcolo si dimostra, che quand' anche il corpo lunare riflettesse

indietro tutta quella luce ch'esso riceve dal Sole senza punto assorbirne, questa luce lunare non potrebbe essere alla superficie terrestre che d'un'intensità centomila volte minore di quella della luce solare. Bouguer poi con esperienze dirette ha ritrovato, che per rispetto alla facoltà d'illuminare la luce della Luna è trecentomila volte più debole di quella del Sole; il che nasce dall'assorbire od estinguere che fa essa Luna circa i due terzi della total luce ch'ella riceve dal Sole: e se malgrado tanta debolezza ella è ancora cotanto sensibile all'occhio nostro, noi il dobbiamo ad alcune proprietà di quest'organo delle quali sarà più acconcio il parlare in altro luogo. Quand'anche adunque, per ciò che spetta al calore che ci viene dalla Luna, si vogliano ammettere i risultamenti del calcolo, non dee punto sorprenderci ch'esso sfugga a tutti i nostri mezzi d'osservazione.

404. Ci mandano qualche calore anche gli altri pianeti, e le stelle fisse, e tutti gli altri corpi a noi invisibili che esistono nelle vaste regioni dello spazio. Il qual calore in totale è tanto, secondo i calcoli del sig. Fourier, che se venisse a mancare l'azione calorifica del Sole, e alla nostra terra altro calorico non pervenisse che questo che le viene dai suddetti corpi con quello altresì della Luna, troverebbesi ella nella stessa condizione come se fosse collocata dentro un inviluppo della temperatura di circa — 40° R., ossia di — 50° C., e si raffredderebbe alla sua superficie sino a questo punto (*). Perocchè tale è la temperatura a cui possono discendere le regioni polari nelle loro lunghissime notti invernali, come è stato trovato con dirette osservazioni da que' viaggiatori che vi hanno dimorato; e secondo il Fourier la temperatura che può essere prodotta dalle irradiazioni de' suddetti corpi celesti è pochissimo inferiore a questa delle regioni

(*) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXXVII, p. 309.

polari (*). Ora una siffatta temperatura è molto al di qua del freddo assoluto, cioè di quel punto che corrisponde alla totale mancanza di calorico, trovandosi più elevata di molti freddi che noi possiamo produrre coll'arte.

Del Calorico che si ottiene dalla combustione e dagli altri mezzi chimici.

405. A misurare il calorico che si sviluppa nella combustione (T. I, p. 188, § 298) serve utilmente il Calorimetro di Rumford. Consiste questo (vedi fig. 5) in una cassetta parallelepipeda di latta, dentro al cui vano serpeggia verso il fondo un tubo pure di latta aperto da ambedue le estremità, e pel quale si fanno passare i prodotti aeriformi della combustione di quel corpo che si vuole sperimentare, e con loro l'aria che viene riscaldata dalla combustione medesima. Si riempie la cassa con acqua che sia più fredda dell'aria ambiente, e quindi col far passare le suddette sostanze aeriformi dal tubo serpeggiante si fa ch'ella si scaldi fino a tanti gradi sopra la temperatura dell'ambiente di quanti prima ella si trovava più fredda. Allora si interrompe la combustione, si misura la perdita che il corpo ha sofferto ossia la massa che n'è bruciata, come pure si misura la quantità di acqua riscaldata e il grado del riscaldamento, e per mezzo di opportuni calcoli si determina il numero delle libbre d'acqua che dalla combustione d'una libbra di quella sostanza potrebbero venir riscaldate di un grado centigrado o di Réaumur.

Si imputa a questo metodo il difetto di lasciare sfuggire una parte del calorico raggiante che emana dal corpo che brucia. Vedremo più innanzi (§ 453) come all'uopo medesimo possa servire il calorimetro di Laplace e Lavoisier.

(*) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXVII, p. 149, 418, 422, 433.

Ecco alcuni risultamenti ottenuti col suddetto e con altri simili metodi (1).

Il legno perfettamente secco, col calore prodotto da una libbra che se ne abbruci, può riscaldare di 1° C. libbre di acqua all'incirca	3500
Il legno nel suo ordinario stato di secchezza, contenente $1/4$ di acqua	2600
Carbone di legna	7300
Carbon fossile grasso di media qualità	6000
Coke (cioè carbon fossile carbonizzato), di una qualità che lasci $15/100$ di cenere	6500
Torba di buona qualità	3000
Carbone di torba, che lasci $18/100$ di cenere	6400
Idrogeno, secondo Laplace	23400

406. Il sig. Marcus Bull (2), il quale fece recentemente in America un gran numero di sperienze sulla facoltà riscaldante delle diverse specie di combustibili, fece per questo oggetto costruire una camera di legno in mezzo a un'altra camera, tenendo la prima isolata tutto all'intorno e senza altri corpi solidi di comunicazione coll'altra che i pochi indispensabili sostegni. Pose quindi dentro alla camera interna una stufa, munita di un lungo tubo metallico molte volte ripiegato, il quale conducesse in giro per la camera medesima i prodotti aeriformi della combustione, nè loro desse uscita fuori di essa camera se non dopo raffreddati quasi alla temperatura della stessa. Ciò preparato, egli poneva nella stufa delle misurate quantità or dell'uno or dell'altro combustibile, procurando che la combustione riuscisse più perfetta che fosse possibile; e ne regolava la rapidità (col

(1) Péclet, *Traité de la Chaleur*. Paris, chez Malher, 1828, t. I, p. 220.
(2) Péclet, *Ibid.* p. 144.

mezzo d'una chiave che lasciava più o meno aperto il tubo che riceveva il fumo) in modo da mantenere la camera interna ad una costante differenza di temperatura colla camera esterna, per tutto il tempo che durava il combustibile. Desumeva quindi il grado comparativo della facoltà riscaldante del combustibile dal tempo che durava quella misurata quantità del medesimo in tal modo cimentata. Trovò egli da queste sperienze che tutti i legni perfettamente secchi, sì dolci che forti, sviluppano presso a poco la medesima quantità di calorico, e che le piccole diversità che si incontrano in tale quantità sono in ragione del più o men carbone che da que' legni si può ottenere.

407. Per rendere più attivo e per applicare più utilmente questo calore si sono immaginati diversi mezzi.

1.° Si sono inventati diversi modi di fornelli o più semplici o più composti, co' quali il calore o venisse semplicemente tenuto raccolto in maniera da non disperdersi lateralmente, o venisse altresì riverberato all'ingiù per riscaldare i corpi anche dal di sopra, o fosse inoltre aumentato da un più rapido afflusso d'aria sui combustibili; il quale ultimo intento si è ottenuto coll'aggiungere sopra i suddetti fornelli una canna, ove tendendo ad innalzarsi l'aria calda, questa ne attrae della nuova al focolare ad alimentare la combustione.

2.° Si è immaginato di spingere artificialmente sui corpi in combustione una forte corrente d'aria; il che si può ottenere o coi mantici semplici ovvero soffietti, o coi mantici doppii, o co' mantici ad acqua.

3.° Per applicare questo calore ad alcune sorte di corpi si trovò utile l'uso della lucerna a spirito di vino, la quale ha il vantaggio di non imbrattare di fumo.

4.° Volendo dirigere con forza una fiamma su qualche corpo, le si spinge contro un forte e sottil getto

d' aria per mezzo di una cannetta o di vetro o di ottone, soffiando in quella o più semplicemente colla bocca o più comodamente con un mantice. Per la fiamma può usarsi olio, o sego, ma migliore è la cera; quando nuoca l'aver fumo si può usare lo spirito di vino, ma l'effetto è più debole. Questo strumento si chiama il *tubo ferruminatorio*, ossia la *cannetta de' saldatori*, e serve moltissimo a' Fisici e agli artefici quando loro occorre o di fondere il vetro per farne termometri, areometri, e simili strumenti, o di chiudere ermeticamente de' recipienti pur di vetro, ec. Serve assai, come appare dal nome, per saldare i metalli. L'usano anche i Mineralogi, quando vogliono riconoscere e distinguere i minerali; sul quale oggetto fece molte importanti osservazioni il celebre Berzelius.

5.° Quando si voglia un calore molto più vivo, si soffia col tubo ferruminatorio una corrente di ossigeno puro: mancando allora l'azoto che suol rallentare la combinazione dell'ossigeno e che inoltre sottrae una parte del calorico sviluppato, la combustione riesce senza paragone più viva.

6.° Ma il maggior calore che si possa da noi ottenere è quello che si ha accendendo una corrente di gas tonante. Nel far uso però di questo sono necessarie molte precauzioni, per impedire che la combustione si propaghi dentro ai recipienti che contengono il gas, e per mettere al sicuro gli operatori; giacchè quando ciò avvenisse, si produrrebbe una fortissima e pericolosissima esplosione.

408. Il calore che ci procacciamo colla combustione serve a moltissimi usi. Noi lo adoperiamo continuamente nei bisogni domestici, nelle fonderie di ferro, e di bronzo, nelle officine de' ferrai, ne' processi di diverse miniere, nelle zecche per depurare i metalli, nelle fornaci della calce, de' mattoni, del vetro, ne' laboratorii di chimica, nelle botteghe de' distillatori, nelle macchine a vapore, ec. ec.

409. Abbiamo già detto che in generale tutte le combinazioni chimiche producono calore (§ 298), e n' abbiamo citati più esempii; e abbiam detto altresì che ciò avviene anche delle semplici mescolanze, qual sarebbe quella dell' acqua coll' alcool o coll' acido solforico. Aggiungeremo ora un fatto singolare scoperto recentemente dal sig. Pouillet (1), ed è che può aversi calore anche dal semplice contatto dei liquidi coi solidi. Bagnò egli d'acqua o d'alcool o d'altro liquore de' corpi ridotti in minuta polvere, affinchè presentassero al liquido una maggiore superficie, p. e. delle farine, della polvere di vetro, ec., tenendo insieme de' dilicati termometri, ed operando in vasi chiusi e difesi da sostanze poco atte a trasmettere il calorico; e vide che sempre aveva luogo una elevazione di temperatura, la quale talora era appena di $1/4$ o di $1/5$ di grado centigrado ma talora giungeva sino a 10° C. A questo effetto del contatto si può forse riferire anche il calore che si sviluppa nelle mescolanze de' liquidi e nelle combinazioni chimiche, dove vengono a toccarsi vicendevolmente le molecole integranti o le molecole elementari dei corpi: egli è chiaro che essendo qui la superficie del contatto maggiore senza paragone che nel caso delle polveri, anche il calore sviluppato può essere di gran lunga più grande.

Ma sulla prima provenienza di questo calore che si sviluppa sì nel contatto che nelle combinazioni, non si hanno finora che delle ipotesi.

De' mezzi meccanici.

410. Possiamo procurarci calore anche con de' mezzi meccanici; i principali sono la condensazione, la percussione, lo sfregamento.

Condensazione. È stato scoperto che l' aria con-

(*) Pouillet, *Élémens de Physique*, t. I, p. 420.

densandosi si riscalda fino a determinare la combustione. Ne abbiamo una prova nell'acciarino pneumatico, col quale si accende l'esca. Un simile riscaldamento avviene anche cogli altri gas sì semplici che composti, i quali sebbene non possano determinare la combustione se manchi l'ossigeno, pure mediante una pronta e forte compressione sviluppano tutti calore, ed alcuni anche luce. Il gas tonante poi con questo mezzo s'accende e scoppia (1).

L'alta temperatura della quale son dotate le pietre meteoriche al loro cadere sulla superficie terrestre, pare che venga loro comunicata dall'aria, cui fortemente condensano innanzi a sè mentre si muovono velocissimamente per l'atmosfera.

Dipende probabilmente dalla condensazione il leggiero calore che si sviluppa (2) allorquando i gas vengono assorbiti dal carbone e dagli altri corpi porosi (§ 262, 264). Vedremo nel capo seguente che la rarefazione produce in vece freddo: e ivi cercheremo altresì di dar ragione di questi due effetti prodotti dalla variazione del volume.

Da recenti sperienze de' signori Colladon e Sturm instituite sull'acqua, sull'alcool, e sull'etere solforico, sembra che si sviluppi qualche poco di calore anche nella compressione di alcuni liquidi (3).

411. *Percussione.* Battuto sull'incudine un chiodo di ferro, viene a scaldarsi cotanto da potervi accender l'esca; e in generale tutti i metalli colla percussione si riscaldano. Sembra che questo possa derivare dalla condensazione che ha luogo ne' metalli stessi mentre si percuotono. In fatti, secondo una sperienza eseguita dai signori Biot, Berthollet, e Pictet, se si batte

(1) Haüy, *Physique*, t. I, p. 143 — Thénard, *Chimie*, t. I, p. 136, ediz. III.

(2) Thénard, *Ibid.* t. I, p. 176.

(3) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXXVI, p. 225 e seg.

più volte di seguito del rame o dell' argento in un torchio da zecca, le prime volte il metallo si riscalda fortemente, nelle successive (ben inteso che abbia in ciascuna volta già perduto il calore acquistato dai colpi precedenti) si riscalda meno, infine cessa del tutto di riscaldarsi (1).

412. *Sfregamento.* Molto più comune e molto più abbondante è lo sviluppo di calorico ottenuto collo sfregamento. Ne abbiamo esempii nel venir limato il ferro da' ferrai, nel girare delle ruote intorno ai loro assi, nello sfregarsi fortemente una mano su d' un pezzo di panno di lana, nel semplice strofinare l'una mano coll' altra. Davy trovò che strofinando insieme due pezzi di ghiaccio, mentre la temperatura dell' aria è al di sotto del punto della congelazione, essi si riscaldano e nel luogo dello sfregamento arrivano a fondersi. Con questo medesimo mezzo i legni si accendono: di che alcuni popoli si approfittano per procacciarsi del fuoco, girando con forza un legno puntuto entro ad un foro praticato in un altro pezzo di legno; e a questa causa attribuiscono alcuni gli incendii fortuiti che talora sono avvenuti nelle foreste, supponendo che il vento abbia violentemente agitati l'uno contro l'altro i rami degli alberi, e gli abbia scaldati ed accesi (2). Una lega metallica di due parti d' antimonio con una di ferro venendo limata manda delle vive scintille infocate (3).

Si appoggia a questo il metodo usitatissimo di trar fuoco dall' acciarino. La pietra focaja battuta e sfregata con forza dall' acciajo ne raschia delle particelle e loro comunica tanto calore da fondersi e bruciare. Per una somigliante ragione i ferri de' cavalli calpestando il suolo sogliono dare scintille: si ha qui, come

(1) Pouillet, *Élémens de Physique*, t. 1, p. 418.
(2) Musschenbroek, *Intr. ad Phil. Nat.* § 1619.
(3) Pouillet, *Ibid.* p. 419.

anche nel caso precedente, uno sfregamento insieme con percussione.

413. Venne fatta recentemente la curiosa osservazione che facendo girare velocemente intorno a se medesima una lamina circolare di ferro dolce, sul cui taglio si tenga appoggiata una lima, questa alla fine viene segata. Avvien questo pel forte calore concepito dalla lima, il quale le toglie la tempera e la rammollisce; mentre in vece il ferro, distribuendovisi il calore per tutta la circonferenza, si conserva più freddo e più duro.

414. Pictet eseguì diverse sperienze (*) facendo girare intorno a se medesima con grandissima velocità una piccola scodella metallica, a cui appressava esteriormente diverse materie che seco lei strofinassero, mentre un termometro collocato col bulbo dentro la sua cavità ne dimostrava la temperatura. Vedevasi questo innalzarsi ora più ora meno secondo le sostanze che si cimentavano, e sì nell'aria che nel vacuo: il massimo calore l'ottenne mettendo dentro la scodellina un po' di cotone, il quale strofinasse col bulbo del termometro.

415. Rumford avendo rivolto colla bocca verso l'alto un cannone di bronzo, il riempì di acqua, e poscia il fe trapanare sul fondo tenendo premuto il trapano con molta forza; il calore fu tale che in capo a due ore l'acqua giunse a bollire. Secondo questo autore, un tal fatto forma una forte obbiezione all'opinione di quelli che stimano essere il calorico una sostanza materiale, e dà molto peso a quella che il tiene per un moto vibratorio. Secondo però le idee che hanno alcuni autori relativamente alla natura del calorico, idee che noi ora non riporteremo per non entrare in cose troppo speculative, non sarebbe impossibile lo spiegare questo indefinito sviluppo di calorico mediante

(*) *Essais de Physique*, p. 179 e seg.

lo sfregamento anche riguardando questo ente siccome materiale. Per la qual cosa, in sino a che la questione non sia affatto decisa, noi continueremo a servirci di questa ipotesi, per approfittare di quella grande chiarezza con che ella riesce a dar ragione de' fenomeni.

416. Altre sperienze sul medesimo soggetto vennero fatte dal cavaliere Morosi (*). Egli trovò che fatti sfregare diversi metalli con uno stesso pezzo di legno, quello che sviluppa la maggiore quantità di calorico si è il piombo; che il calore si aumenta coll' accrescere la velocità del corpo sfregante; ma che s' accresce ancor più aumentando la pressione. Fra i diversi esempii poi di un forte calore ottenuto da lui con questo mezzo citeremo quello della fusione dello stagno, e quello dell' ebullizione e della pronta vaporizzazione dell' acqua.

417. Se ai corpi che insieme si soffregano si frappone un qualche liquido, qual sarebbe acqua, olio, sego, od altra specie di grasso, cessa quasi affatto lo sviluppo del calore; l' uso perciò di ungere di sostanze grasse gli assi delle ruote non solo ne facilita i movimenti e li conserva dal logoramento, ma li difende eziandio da que' danni cui un forte calore gli esporrebbe.

Del passaggio del fluido elettrico.

418. Quando per un filo metallico passa un' abbondante corrente di fluido elettrico messa in moto o da una pila di Volta o dalla scarica di una batteria, esso filo si riscalda fortemente. Il fulmine, il quale altro non è che una scintilla elettrica d' immensa forza, non solo spezza e disperde i corpi che si oppongono al

(*) *Memorie dell' I. R. Istituto Lombardo-Veneto.* Milano, 1824, t. III, p. 137.

suo passaggio, ma molte volte se sono combustibili gli accende.

Una prova della portentosa azione riscaldante dell' elettricità fulminea si ha nel fenomeno molto raro ma certissimo di quei tubi vitrei che sonosi scoperti in più paesi in luoghi sabbiosi ed umidi, e che si ritengono formati dal passaggio del fulmine (1). Come poi dall' elettricità si abbia calore, è cosa coperta finora anch' essa da densa nube.

Del Calore proprio e centrale del globo.

419. Oltre al Calorico che la terra riceve dai corpi esteriori e a quello che si va in essa producendo coi diversi processi che abbiamo accennati, ella ne possiede altresì nel suo interno una grande quantità ch' ella conserva ancora dalla sua creazione.

Scendendo sotterra e osservando la temperatura che corrisponde alle diverse profondità, vale a dire la temperatura media dell' anno se si tratta di luoghi vicini alla superficie, e la temperatura invariabile che il termometro mostra in qualunque tempo se si tratta di luoghi molto profondi, si trova che questa temperatura cresce gradatamente a proporzione che si va a maggiore profondità (2). Si è questa cosa riconosciuta in tutti que' luoghi dove si sono fatte di simili osservazioni, in Sassonia, in Svizzera, in Inghilterra, in Francia, in America, sì penetrando sotterra nelle pianure come internandosi entro le montagne, talchè si crede un fatto generale di tutta la superficie terrestre. Questo aumento successivo poi di temperatura non ha dappertutto una medesima legge; però il risulta-

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, anno 1821, t. XIX, p. 290.

(2) Musschenbroek, *Intr. ad Phil. Nat.* § 2299. — *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1821, p. 44 e 71.

mento medio è di circa un grado centigrado di maggior calore per ogni 40 metri di discesa, ossia di un grado di Reaumur per ogni 50 metri.

420. Non dipende poi questo calore nè dalla presenza degli operai o dai loro lavori, giacchè ha luogo anche in loro assenza, nè dal condensarvisi l'aria che vi scende dal di fuori, giacchè la differenza di pressione è molto più piccola di quello che bisognerebbe; sembra similmente che vi abbiano pochissima parte i processi chimici che avvengono naturalmente in questi luoghi; ma a tutte le apparenze è questo un residuo di quel calore che aveva la terra alla sua origine. Perocchè molti autori opinano che il nostro globo fosse in sul principio in istato di fusione, deducendolo dall'aver egli potuto in forza del moto rotatorio acquistare la forma sferoidale compressa ai poli ed elevata all'equatore; che però gli strati superficiali, siccome quelli che potevano perdere prontissimamente il calorico irradiandolo verso lo spazio, si sieno in brevissimo tempo raffreddati e consolidati; ma che le parti interne conservino ancora un calore molto intenso il quale non si vada perdendo che lentissimamente, e possano a qualche decina di leghe sotto la superficie trovarsi ancora allo stato di ignea fluidità.

421. Da questo calor centrale deriva probabilmente quello delle acque termali, delle quali ve n'ha in moltissimi luoghi. Noi abbiamo già menzionate quelle di Geyser e di Carlsbad (§ 275); ora citeremo quelle a noi vicine di Acqui in Piemonte. Opina Laplace che le acque di cotali sorgenti si internino prima sino a quei luoghi profondi dove la terra è molto calda, e che là scaldatesi risalgano poscia ed escano all'aria libera colla temperatura acquistata.

Si attribuisce a un tal calore anche il fuoco de' Vulcani; ma di questi avremo occasione di ragionare altrove.

422. Ad onta però di tanto calore che a tutte le

apparenze vi ha nelle parti centrali del globo, i suoi effetti alla superficie terrestre sono pochissimo sensibili, producendo presentemente secondo Fourier (*) un riscaldamento minore di $1/30$ di grado centigrado, quantità piccolissima, della cui mancanza non si accorgerebbero per niente gli uomini, e quasi niente l'economia della natura.

CAPO II.

DEL CALORICO CONSIDERATO ALLO STATO DI EQUILIBRIO

423. Trovandosi i corpi perpetuamente esposti o all'azione diretta di alcuna delle sovrammenzionate sorgenti di calorico, o all'azione calorifica di altri corpi che da queste sorgenti sieno stati riscaldati, ed operando queste azioni ora più ed ora meno intensamente, egli ne succede che il calorico non si trova mai in istato di perfetto riposo, ma ora entra nei corpi e vi si condensa, or ne esce e dentro ad essi si dirada, ora vi si muove verso una o verso altra parte. Non è però questo stato di riposo per lui fisicamente impossibile o contrario assolutamente alla sua natura; giacchè esso avrebbe luogo alloraquando venissero ad equilibrarsi tutte le forze che tendono a metterlo in moto. In questo stato poi, che noi chiameremo di *equilibrio*, il calorico conserverebbe ancora diverse delle sue proprietà; e di esse appunto noi faremo il soggetto del presente capitolo, riserbando ai due seguenti le leggi secondo le quali esso calorico si muove.

(*) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXVII, p. 138.

Della Imponderabilità del Calorico.

424. Una delle menzionate proprietà è quella di non mostrare verun peso sensibile. Ha trovato il Rumford (1) che un pezzo d'oro del peso di once 9 3/4 riscaldato dalla temperatura del ghiaccio sino all'incandescenza non mostra accrescimento di peso nemmeno provato con una bilancia atta a far conoscere un milionesimo di questo peso. Messi in un vaso di vetro a sottil collo dell'acqua e dell'acido solforico concentrato, questo sotto e quella sopra in modo che stiano separati, quindi chiuso ermeticamente il vaso mediante la fusione dell'estrema parte del collo, poscia agitato il vaso stesso e fatta svilùppare una grande quantità di calorico, in fine lasciato che questo si disperda e che il vaso torni freddo qual prima, non si trova che il peso assoluto di esso siasi punto diminuito; e ciò benchè sia uscita una quantità di calorico notabilissima, la quale, nell'ipotesi della materialità di esso calorico, contenevasi già nel vaso avanti l'agitazione (2).

425. Per chi riguarda il calorico come un semplice moto di tremore, siffatta imponderabilità è una proprietà necessaria di questo ente; giacchè tremando i corpi o no, la quantità di materia che li compone è sempre quella stessa. Ma un tal fatto si può conciliare ben anche coll'opinione che tiene il calorico per una sostanza materiale: in questa opinione può spiegarsi esso fatto coll'ammettere che tale sostanza sia di una estrema rarità e leggerezza o anche sia affatto priva d'attrazione in distanza verso i corpi.

(1) *Phil. Trans.* 1799.
(2) Thénard. *Chimie.* 1821, t. I, p. 47.

Della Temperatura.

426. *Nozione della Temperatura.* In un corpo qualsivoglia può il Calorico esistere in dosi diversissime, potendo da una quantità piccolissima accumularsi successivamente e per gradazioni impercettibili fino ad una grandissima; e a ciascuna di tali quantità esso spiega un particolar grado di forza per uscire di quel corpo e diffondersi o nello spazio o ne' corpi circostanti, forza che cresce o diminuisce secondo che cresce o diminuisce la quantità di calorico medesima. Ora quando in due corpi il calorico tende ad uscire collo stesso grado di forza, in guisa che posti l'uno a contatto dell'altro per una parte della loro superficie, nè l'uno nè l'altro possa comunicar calorico al vicino, ma vi abbia una specie di equilibrio fra le due tendenze contrarie, in tal caso si dice che i due corpi sono all'*equilibrio di temperatura* o ad *uguale temperatura*. Quando in vece nell'un de' corpi la tendenza del calorico per uscire è maggiore che nell'altro, talchè messi a contatto il primo di essi spinga calorico nel secondo, allora si dice che la *temperatura* del primo è *più elevata* e che quella del secondo è *più bassa*. Così diciamo che la *temperatura* di un corpo *si alza, si abbassa*, o rimane stazionaria, per indicare che la forza con cui il calorico tende ad uscirne, cresce, diminuisce, o si mantiene la medesima. In genere noi intendiamo per *temperatura* di un corpo *la forza colla quale tende ad uscirne il calorico che in esso si contiene.*

427. *Dell'equilibrio di temperatura.* L'equilibrio di temperatura fra due corpi è possibilissimo a darsi, benchè pei continui movimenti del calorico non soglia durare.

Fra due corpi che sieno di una medesima natura sì rispetto alla sostanza, che rispetto alla densità e

in genere alla disposizione delle particelle componenti, egli basta che il calorico vi si trovi ugualmente condensato, vale a dire in tal modo distribuito, che prese in essi due corpi delle uguali masse, si contengano in queste delle quantità di calorico uguali.

Per vedere come esso equilibrio possa avvenire fra due corpi di diversa natura, immaginiamo che un termometro a mercurio venga successivamente immerso in più uguali masse d'acqua state esposte per un tempo diverso ad un medesimo fuoco. In alcune di esse il termometro, fatto paragone a quel che egli mostrava nell'aria, darà segni di raffreddamento, in altre in vece ne darà di riscaldamento, ma in mezzo alle une ed alle altre potrà esservene una sì opportunamente riscaldata che nol faccia punto muovere, ma il lasci allo stessissimo segno ch'esso indicava prima di immergerlo. Ora in quest'ultima si verificherà appunto l'*equilibrio* o l'*uguaglianza* di temperatura col termometro immerso. Fra le altre masse d'acqua in vece e il termometro vi sarà squilibrio e disuguaglianza, preponderando rispetto ad alcune la forza tendente a fare uscire il calorico dello strumento, e rispetto ad altre la forza tendente ad introdurvelo: però questo squilibrio non sarà sensibile che nei primi istanti dopo l'immersione; giacchè se il termometro verrà lasciato immerso per qualche tempo, o col cedere calorico all'acqua o col riceverne, esso si ridurrà in breve ad avere secolei una differenza di temperatura estremamente piccola, o ad essere con lei sensibilmente ad equilibrio di temperatura.

Per un secondo esempio supponiamo messi per qualche tempo a mutuo contatto due corpi A e B di diversa natura, il primo assai caldo, ma che con qualche mezzo venga da noi gradatamente raffreddato, l'altro assai freddo, ma che da noi venga a poco a poco riscaldato; in sul principio il corpo A si troverà ad una temperatura più elevata di B, verrà quindi un

istante in cui le temperature saranno assolutamente uguali, dopo il corpo A si troverà ad una temperatura più bassa di B.

Possiamo qui notare, che quando un corpo A posto a combaciamento con un altro corpo B, si trova ad equilibrio di temperatura con questo, non vien punto distrutto questo equilibrio se al corpo A venga tolta materia o ne venga aggiunta dell'altra ugualmente riscaldata. Ciò mostra che l'azione che prova il calorico in qualsivoglia punto della superficie di un corpo dal calorico delle parti sottoposte del corpo stesso, non dipende che dalla temperatura delle parti vicinissime a questo punto, e nulla affatto dalle lontane.

428. Quando un corpo si trovi abbracciato tutto all'intorno da corpi di temperatura uniforme e costante (tal sarebbe quando fosse in mezzo ad una massa d'acqua mista con neve), giungerà esso alla fine ad avere sensibilmente la stessa temperatura di essi, e questa egli manterrà invariabilmente. Avremo allora un corpo che non solo sarà all'equilibrio di temperatura coi corpi vicini, ma in cui altresì il calorico si troverà equilibrato ed immobile (§ 423).

Fin qui abbiamo ragionato di corpi a contatto, vedremo più innanzi come si possano equilibrare le temperature de' corpi in distanza.

429. *Gradi di temperatura.* Sono infiniti i possibili stati di equilibrio di temperatura. Se dopo ottenuto uno stato di equilibrio fra una numerosa serie di corpi, noi portiamo un d'essi ad una temperatura comunque diversa o più elevata o più bassa, potremo elevare od abbassare la temperatura di tutti gli altri fino ad essere nuovamente in equilibrio colla temperatura di questo.

In genere vi sono pei corpi infinite gradazioni possibili di temperatura, le quali cominciando dall'assoluta privazione di calorico possono elevarsi indefinitamente; e di esse tutte è capace qualsivoglia corpo della natura. Siccome poi certi particolari fenomeni che

avvengono nei corpi stessi hanno luogo a temperature determinate che assaissimo importa di conoscere, così si è studiato di rinvenire de' segni che caratterizzino ciascuna temperatura e la possano manifestare. Si è trovato poter servire ottimamente a questo oggetto le mutazioni di stato e di volume che soffrono i corpi stessi nel passare dall'una temperatura all'altra. Perciocchè un corpo qualsivoglia a ciascuna delle diverse temperature cui può essere recato ha un particolare volume, che egli muta al cangiare della temperatura, ma che riprende di nuovo se la temperatura ritorna la medesima; ed oltre a ciò a temperature determinate che variano secondo la natura del corpo, esso passa dall'uno all'altro de' tre stati solido, liquido ed aeriforme (§ 150). Quindi è che i cangiamenti di stato e le diverse grandezze di volume di un corpo possono dichiarare a quale temperatura esso si trovi. Asserendo, p. e., che il ghiaccio è sul punto di fondersi, o che il mercurio od altro fluido occupa in un termometro un tale determinato spazio contrassegnato da un tale determinato numero, noi veniamo a dichiarare e ad individuare quale temperatura si abbia.

430. Non però tutte le sostanze, come vedremo più ampiamente nel seguito, cangiano volume colla stessa legge. Se l'una di esse, qual sarebbe, p. e., lo spirito di vino, prende l'una dopo l'altra tali temperature che il suo volume si aumenti per differenze uguali, recate parecchie altre sostanze alle temperature medesime e collo stesso ordine, si dilateranno bensì esse pure, ma non con eguali successive differenze di volume; tali successive differenze andranno, p. e., nel mercurio diminuendo le une dopo le altre, e nell'etere solforico crescendo. Questa cosa si riscontra tanto paragonando fra loro le dilatazioni de' liquidi, come altresì mettendo a confronto quelle de' solidi; e una irregolarità somigliante suol palesarsi eziandio nelle variazioni apparenti di volume che mostrano i liquidi

contenuti dentro a vasi solidi, come sarebbe dentro ai recipienti termometrici.

Segue da ciò che se noi, nell' intenzione di determinare o *misurare* come suol dirsi le temperature, facciamo diversi termometri uno a mercurio, uno ad alcool, uno ad olio, ec., dividendo, p. e., in 100 parti uguali l'accrescimento apparente di volume che mostra una massa di ciascuno di questi liquidi contenuta in una boccettina di vetro nel passare dalla temperatura del ghiaccio che si fonde a quella dell' acqua bollente; e se altresì noi facciamo de' termometri con diverse sostanze metalliche, dividendo similmente in 100 parti uguali l'allungamento che soffre una riga di ciascuno de' metalli adoperati nell' esser recata dalla prima alla seconda delle temperature suddette; noi troveremo che questi stromenti non andranno fra loro d' accordo, ma per una temperatura medesima l' un d' essi segnerà $^{40}/_{100}$ di quella totale dilatazione ossia 40 gradi, un altro segnerà $^{39}/_{100}$, un terzo $^{41}/_{100}$, ec. In conseguenza di che, quando si voglia individuare rigorosamente una temperatura, convien dichiarare (seppure non vi abbia qualche tacita convenzione) con quale sorta di strumento siano computati i gradi, se con un termometro a mercurio, o con uno ad alcool, ec.

431. Questa diversità da sostanza a sostanza non ha luogo ne' fluidi aeriformi, i quali si è trovato che si dilatano tutti colla medesima legge; talchè se ad una data temperatura si prendano uguali volumi di parecchi di essi, questi volumi si mantengono uguali fra loro a tutte le temperature, tanto dilatandosi o restringendosi l'uno quanto fa l'altro. Da questo fatto si è condotti a pensare che nella dilatazione de' fluidi aeriformi abbia parte un minor numero di cause, e che forse vi operino le sole forze del calorico (non concorrendo, p. e., nè l'attrazione molecolare, nè la forma delle molecole, nè altro); e che però questa di-

latazione abbia con tali forze una relazione più semplice che non le dilatazioni delle altre sostanze, in modo che quando un gas per lo innalzamento della temperatura si dilata uniformemente ossia per differenze successive uguali, si accrescano con una legge molto regolare e semplice anche cotali forze del calorico; e che per conseguenza se si esprimano i gradi della temperatura per mezzo della dilatazione de' fluidi aeriformi, debbano le leggi degli effetti del calorico riuscire molto più semplici che se si operi altrimenti.

Questo sospetto, avvalorato da altre ragioni che vedremo più innanzi, ha indotto i Fisici a misurare effettivamente le temperature, quando desiderano tutto il rigore, per mezzo della dilatazione de' fluidi aeriformi, e a costruire que' termometri ove vogliono una gran precisione, o ad aria o in modo che s' accordino con un termometro ad aria. A rigore adunque, allorchè si asserisce di avere, p. e., $+10°C.$ di temperatura, s' intende implicitamente di parlare di gradi misurati da un termometro ad aria, cioè s' intende di indicare una temperatura tale, che faccia dilatare un volume d' aria preso alla fusione del ghiaccio, di dieci di quelle parti, delle quali portato nell' acqua bollente esso si dilaterebbe 100.

432. Però il termometro a mercurio, graduato col dividere in parti uguali l'apparente dilatazione di questo liquido nel recipiente termometrico fra la temperatura del ghiaccio che si fonde e quella dell' acqua bollente, si è trovato che per tutti i gradi compresi fra questi due punti fissi ed anche per quelli al di sotto del gelo fin verso i $-36°C.$, cammina abbastanza d' accordo col termometro ad aria. Perciò ne' bisogni ordinarii dove le temperature che si hanno a misurare sogliono essere comprese fra questi limiti e dove altresì non è necessaria una grandissima precisione, si fa uso di termometri a mercurio costruiti indipendentemente da quello ad aria, vale a dire dividendo in parti uguali la di-

latazione apparente di questo liquido; e se si fa uso di termometri ad alcool o di quelli formati con altre sostanze, si cerca che s' accordino con un buon termometro a mercurio; e i gradi da essi indicati si ritengono far le veci di quei che verrebbero dati da termometri ad aria. Questi ultimi essendo molto più difficili sì a costruirsi che ad usarsi, non si adoperano che in sperienze molto delicate.

Parleremo in altro luogo delle cautele che si debbono avere nella costruzione de' diversi termometri.

Del Calorico specifico.

433. Supponiamo che si abbia una serie di molti corpi di diversa natura ma di ugual massa e tutti ad una temperatura medesima; se noi vorremo recarli ad un'altra temperatura più elevata ma che pur sia uguale per tutti, si troverà che occorreranno a ciò delle quantità di calorico assai diverse; una libbra d'acqua, p. e., onde riscaldarsi da 0°C. a +1°C. avrà bisogno più calorico che una libbra di ferro, questa più che una libbra di piombo, ec. Ora queste attitudini dei corpi ad esigere per uguali masse più o men calorico onde scaldarsi egualmente, si dicono le loro *capacità specifiche per ricevere il calorico* o semplicemente le *capacità pel calorico;* e la quantità stessa più o men grande di calorico ch' essi richieggono in paragone l'uno dell' altro, si dice il loro *calorico specifico.* Così diciamo che l'acqua ha *maggiore capacità* pel calorico, ovvero che ha più *calorico specifico* del ferro, e che questo ne ha più del piombo.

Osservandosi che in generale le sostanze più dense, p. e. il platino, l'oro, il mercurio, il piombo, ec., sono le meno capaci pel calorico, potrebbe in sulle prime nascere ad alcuno il sospetto che questa loro minore capacità sia interamente dovuta al piccolo volume delle masse che ne vengono prese a riscaldare.

Ma si è riconosciuto che anche prendendo le diverse sostanze a volumi uguali, occorrono quantità di calorico differenti per riscaldarle ugualmente; vale a dire che sono differenti anche le *capacità a pari volume.*

434. Su questo soggetto sonosi dai Fisici fatte molte ricerche, e si sono determinate le capacità pel calorico di un gran numero di sostanze. Ecco nelle due tavole seguenti alcune di queste capacità (*).

(*) Vedi Pouillet, *Élémens de Physique*, t. I, p. 396 e seg. Le capacità a pari volume che veggonsi nella colonna terza della Tavola I, si sono ottenute, trattane quella dell'acqua, col moltiplicare i numeri della seconda colonna per le densità delle corrispondenti sostanze alla temperatura di +5o° C.; perocchè, siccome le capacità a pari masse esposte in essa seconda colonna, ad eccezione di quella dell'acqua, sono quelle che si riferiscono ad una tale temperatura, così a questa si è creduto di dover fare anche corrispondere le capacità a pari volume. La capacità dell'acqua, espressa da 1 sì nella seconda che nella terza colonna, si ritiene esser quella alle ordinarie temperature, cioè a quelle da +10° C. a +25° C. circa.

I. *Capacità pel Calorico di diverse sostanze solide e liquide determinate dai signori Petit e Dulong.*

NOMI DELLE SOSTANZE	CAPACITÀ a pari masse posta = 1 quella dell'acqua.	CAPACITÀ a pari volumi posta = 1 quella dell'acqua.
Acqua	1,0000	1,000
Alcool assoluto	0,719 (1)	0,57
Argento	0,0557	0,581
Ferro	0,1098	0,854
Mercurio	0,0330	0,445
Oro	0,0298	0,572
Piombo	0,0293	0,331
Platino	0,0335	0,704
Rame	0,0940	0,824
Stagno	0,0514	0,374
Vetro	0,1770	0,439
Zinco	0,0927	0,633

II. *Capacità pel Calorico di diverse sostanze aeriformi, supposta permessa la dilatazione, e sotto la pressione di 760 millimetri di mercurio, secondo le sperienze dei signori De la Roche e Bérard.*

NOMI DELLE SOSTANZE	CAPACITÀ a pari masse posta = 1 quella dell'acqua.	CAPACITÀ a pari volumi posta = 1 quella dell'aria.
Aria atmosferica	0,2669	1,0000 (2)
Idrogeno	3,2936	0,9033
Ossigeno	0,2361	0,9765
Azoto	0,2754	1,0000
Ossido di carbonio	0,2884	1,0340
Acido carbonico	0,2210	1,2583
Ossido d'azoto	0,2369	1,3503
Idrogeno bicarburato	0,4207	1,5530
Vapore acqueo	0,8470	1,9600

(1) Io l'ho desunta dalle sperienze de' suddetti autori sul raffreddamento de' corpi, *Ann. de Chim. et de Phys.* t. VII, p. 294.

(2) A parità di volume, la capacità pel calorico dell'aria è circa $^1/_{1005}$ di quella dell'acqua.

I numeri della seconda colonna significano che chiamata 1 quella quantità di calorico che fa bisogno ad una libbra d'acqua per riscaldarla a cagion d'esempio di un grado centigrado, dev'essere espressa da 0,0557 quella che occorre per un simile riscaldamento ad una libbra di argento, da 0,2669 quella che occorre ad una libbra d'aria, ec. Ed anche, il che torna poi allo stesso, que' numeri significano che chiamata 1 la quantità di calorico che dev'essere perduta da una libbra d'acqua onde raffreddarsi, p. e., di 1° C., debbono essere rispettivamente espresse da 0,0557, da 0,2669, ec. quelle che debbono essere perdute da una libbra di argento, da una libbra d'aria, ec., perchè queste si raffreddino similmente di 1° C. Dopo ciò non è difficile a intendersi il significato de' numeri della terza colonna. Avvertiremo qui, che quando si dice *capacità specifica*, o *capacità specifica pel calorico* senza altra aggiunta, s'intende di parlar di quella a parità di masse.

435. Per la determinazione di queste capacità si conoscono principalmente quattro metodi, vale a dire quello *delle Mescolanze*, quello *del Calorimetro di Rumford*, quello *del Calorimetro di Lavoisier e Laplace*, e quello *del Raffreddamento*.

Metodo delle Mescolanze. Il metodo delle mescolanze, che serve per le sostanze solide e per le liquide, consiste nel porre insieme due masse di diversa natura e che sieno a temperature differenti, nel fare che per mezzo del rimescolamento o di opportuni movimenti l'una si raffreddi e col calorico da essa perduto l'altra si scaldi, e così vengano a una temperatura comune, e nel dedurre poscia dai gradi del raffreddamento dell'una e del riscaldamento dell'altra il rapporto delle capacità specifiche. Per mostrare come si debba procedere nel dedurre dai risultamenti della sperienza un tale rapporto delle capacità, daremo un esempio.

Si voglia la capacità specifica del ferro in paragone di quella dell'acqua, a parità di masse. Si prenderà

una quantità di acqua, p. e. di 10 libbre, e postala in un adattato recipiente se ne esplorerà diligentemente la temperatura: sia questa, p. e. di 0° C. Si prenderà una massa di ferro, p. e. di 20 libbre, e foggiatala a modo d'anello, affinchè possa avere più punti di contatto coll'acqua nel venir mossa in mezzo a questa, si porrà a scaldare in un bagno liquido, p. e. nell'olio, insino ad una determinata temperatura, diversa da quella dell'acqua, p. e. di 100° C.; estratta quindi dal bagno si trasporterà prontamente nel recipiente dell'acqua, e vi si muoverà con prestezza fino a che le due masse abbiano presa una temperatura comune; sia questa di +18° C. Ciò eseguito, si rifletterà che in questa prova le 20 libbre di ferro si sono raffreddate da +100° C. a +18° C. cioè di 82°, e che in contraccambio le 10 libbre di acqua sonosi scaldate di soli 18°; e che perciò se fossero state venti anche le libbre dell'acqua, esse si sarebbero scaldate soltanto di 9° *prossimamente*. In vista di ciò noi conchiuderemo, che a parità di massa, una quantità di calorico che scaldi il ferro di 82°, riscalda l'acqua appena di 9°; che quindi una quantità di calorico che scaldi il ferro di 1°, non riscalda l'acqua se non che di $9/82$ di 1° *prossimamente;* e che per conseguenza il ferro onde essere scaldato d'un dato numero di gradi esige appena $9/82$ di quella quantità di calorico, che esige una egual massa d'acqua per essere scaldata di un egual numero di gradi. La capacità adunque del ferro, a parità di massa, è $9/82$ di quella dell'acqua, ossia, presa per unità quella dell'acqua, ella è 0,1098 *prossimamente*. Il metodo pertanto consiste, in generale, nel ridurre i risultamenti della sperienza ad uguaglianza di masse, e nel considerare che la capacità pel calorico d'una sostanza è, a parità di massa, tante volte maggiore di quella d'un'altra, quante volte è minore il numero de' gradi di cui cangia di temperatura la prima in paragone della seconda, per una medesima quantità di calorico.

Ho detto più volte *prossimamente*, perchè nel computo esposto si suppone in primo luogo che il calorico perduto dal ferro nel discendere da +100°C. a +99°C. sia precisamente nella stessa quantità di quello perduto scendendo da +99° a +98°, di quello perduto scendendo da +98° a +97°, ec., infine di quello perduto nel passare da +1° a 0°; la quale cosa non è rigorosamente vera, stante che queste quantità di calorico vanno lentamente decrescendo l'una dopo l'altra (veggasi più sotto al § 438): in secondo luogo si ammette che a riscaldare una massa solida, p. e., da 0° a +82° C. faccia bisogno precisamente quella stessa quantità di calorico che vien perduta da essa massa nel raffreddarsi da +82° a 0°; la qual cosa potrebbe non essere vera in tutto il rigore per que' solidi, che venendo scaldati e quindi raffreddati, non ripigliano esattamente le medesime dimensioni che avevano avanti di essere scaldati (Vedi più sotto a' § 604, 605, e 606).

Noteremo poi che nella esecuzione pratica di queste sperienze conviene altresì aver riguardo al calorico ceduto al recipiente che contiene l'acqua, come pure a quel calorico che può essere comunicato all'aria e ai corpi circostanti.

436. Dalla capacità a parità di masse, che è quella che vien data dal metodo or ora enunciato, noi abbiamo immediatamente quella a parità di volumi col solo moltiplicare la prima pel numero delle volte che un dato volume della sostanza cimentata è più pesante di un egual volume di acqua, vale a dire per la densità della sostanza stessa a confronto dell'acqua. Si ha, p. e., quella del ferro moltiplicando 0,1098 per 7,78. Ho detto *di un egual volume d'acqua*, intendendo che anche per le capacità a pari volumi si voglia prendere ad unità quella dell'acqua.

437. Occorre molte volte il bisogno di conoscere la quantità totale di calorico che può abbisognare ad un

corpo di data massa o di dato volume, per riscaldarsi di un dato numero di gradi; tal sarebbe se si volesse conoscere la quantità di calorico necessaria a scaldare di 80°C. una caldaja di ferro del peso di 250 chilogrammi. In questo caso, per attenerci all'addotto esempio, siccome a scaldare una libbra di ferro fa d'uopo 0,1098 di quella quantità di calorico che sarebbe necessaria per una libbra d'acqua, così è chiaro che per 250 chilogrammi di ferro abbisognerà la stessa quantità di calorico come per chil. 250. 0,1098, ossia per chil. 27,45 di acqua. In simili occorrenze adunque si moltiplica la massa del corpo in questione per la capacità specifica della sostanza che il compone, presa tale capacità a parità di masse; e con ciò si ha la quantità di acqua che equivale al corpo stesso rispetto alla totale quantità di calorico che gli bisogna per essere scaldato di un dato numero di gradi.

Questo prodotto della massa per la capacità specifica, o piuttosto questa attitudine di un corpo dato a dover ricevere una più o men grande quantità totale di calorico onde essere scaldato di un dato numero di gradi, quando ci accada di nominarla, la chiameremo la *Capacità totale per ricevere il calorico*, o semplicemente la *Capacità totale pel calorico*. Così diremo, p. e., che una caldaja di ferro del peso di 250 chilogrammi ha una *capacità totale pel calorico* pari a quella di chilogrammi 27,45 di acqua.

È chiaro che questa *capacità totale* d'un corpo si può ugualmente avere moltiplicando il suo volume per la sua capacità specifica presa a parità di volumi.

Così pure egli è evidente che se il corpo è composto di più parti di diversa natura, conviene moltiplicare la massa di ciascuna parte per la rispettiva capacità specifica presa a parità di masse, e quindi sommare insieme tutti i diversi prodotti.

438. *Osservazione.* Un importante risultamento ottenuto con questo metodo delle mescolanze dai signori

Petit e Dulong, si è che la capacità specifica d'un corpo, considerata a massa costante, coll'elevarsi della temperatura va gradatamente crescendo. Avendo in fatti misurata la quantità di calorico abbandonata, e. g., da una massa di ferro nel raffreddarsi da +100° C. a 0°, e quella abbandonata dalla massa medesima nel raffreddarsi da +300° C. a 0° (supposte indicate queste temperature da un esatto termometro ad aria), essi hanno trovato che la seconda di tali quantità è più che il triplo della prima, e che perciò per ognuno de' gradi compresi fra 300° e 100° viene abbandonata in adequato una maggiore quantità di calorico che per ciascuno de' gradi compresi fra 100° e 0°. La seguente tabella presenta i risultamenti ch'essi ottennero riguardo a diverse sostanze.

NOMI DELLE SOSTANZE	CAPACITÀ media, a parità di masse, fra 0° e +100° C.	CAPACITÀ media fra 0° e +300° C.
Antimonio	0,0507	0,0549
Argento	0,0557	0,0611
Ferro	0,1098	0,1218
Mercurio	0,0330	0,0350
Platino	0,0335	0,0355
Rame	0,0949	0,1013
Vetro	0,177	0,190
Zinco	0,0927	0,1015

Riguardo al ferro in particolare, sul quale poterono eseguire più accurate indagini, siccome quello che si può scaldare nel mercurio, essi ottennero i risultamenti che seguono:

Capacità media fra 0° e +100° . . . 0,1098
fra 0° e +200° . . . 0,1150
fra 0° e +300° . . . 0,1218
fra 0° e +350° . . . 0,1255 (*).

(*) *Annales de Chimie et de Physique*, t. VII, p. 147.

439. *Uso del Calorimetro di Rumford.* Serve questo strumento pei fluidi aeriformi. Si fa passare una massa conosciuta e riscaldata di uno di questi per la canna serpentina che gira sul fondo dello strumento (§ 405); si osserva di quanti gradi viene a riscaldarsi l'acqua contenuta; indi si deduce la capacità pel calorico con un ragionamento affatto simile a quello fatto testè (§ 435) pel ferro.

Supponiamo per un esempio che si tratti dell'aria, e che una libbra di questa perdendo 56°,2 gradi di calore faccia innalzare una libbra di acqua di 15°. La sua capacità sarà $\frac{15}{56,2}$ della capacità dell'acqua, ossia sarà espressa da 0,2669.

Noteremo poi che nella determinazione del calorico specifico de' fluidi aeriformi conviene tener conto della pressione a cui sono sottomessi, stimandosi che quanto più piccola è questa, sia tanto più grande la capacità valutata a pari masse (1). I risultamenti esposti al § 434 corrispondono ad una pressione di 760 millimetri di mercurio (2).

440. *Metodo del Raffreddamento.* Questo metodo è fondato sul principio che avendosi più corpi affatto simili di figura e di grandezza, collo strato più superficiale di una medesima natura, riscaldati ad un medesimo grado, e collocati in circostanze atmosferiche affatto uguali, questi per raffreddarsi di un determinato numero di gradi impiegano tempi proporzionali alle rispettive capacità *totali* pel calorico (Vedi più innanzi al § 556).

Per vedere come si proceda in questo metodo, abbiasi per un esempio un vaso di ferro, il quale nella capacità *totale* pel calorico equivalga ad una massa di acqua di chilogrammi 0,3 e che riempiuto di acqua, ne contenga chilogrammi 4,5, talchè l'acqua col vaso equivalga nella capacità totale pel calorico ad una massa d'acqua di chilogr. 4,8. E si supponga che questo vaso coll'acqua che può contenere, venendo scaldati e quindi lasciati raffreddare in date

(1) Pouillet, *Élémens de Physique*, t. I, p. 400.
(2) Biot, *Traité de Phys.* t. IV, p. 726.

circostanze atmosferiche, impieghino il tempo di 780″ a passare da +45° C. a +30° C.

Riempiuto in vece il medesimo vaso con 60 chilogr. di mercurio, si supponga che per raffreddarsi del medesimo numero di gradi e in circostanze affatto simili, impieghi 370″. Sarà la capacità totale del vaso col mercurio equivalente a $\frac{37}{78}$ di quella del vaso stesso coll'acqua; cioè esso vaso col mercurio sarà equivalente nella capacità totale pel calorico a chilogrammi $\frac{37}{78}$.4,8, ossia 2,28 di acqua. Deducendo chilogr. 0,3 pel vaso, rimarranno i 60 chilogrammi di mercurio equivalenti a 1,98 chilogrammi di acqua. Quindi la capacità pel calorico del mercurio sarà $\frac{198}{60}$ di quella dell'acqua, cioè sarà espressa da 0,033.

Affinchè questo metodo sia sufficientemente esatto è necessario che la temperatura si mantenga quanto più si può uniforme in tutte le parti del corpo che si raffredda, cosa che nelle sperienze ordinarie non si ottiene con bastevole approssimazione se non nei liquidi che vengono tenuti agitati, e nelle masse metalliche non molto grandi.

I sig. Dulong e Petit, onde meglio ottenere un tale scopo per le sostanze solide, riducevano in minuta polvere le masse che essi volevano esplorare, le collocavano dentro piccoli recipienti d'argento, e vi facevano d'intorno il voto. A questo modo (per le ragioni che si diranno più innanzi) il raffreddamento si rendeva lentissimo, e la temperatura nel suo abbassarsi si manteneva pressochè uniforme in tutte le parti della massa.

Dell'uso del Calorimetro di Laplace e Lavoisier parleremo fra poco (§ 453).

441. Dall'avere i corpi una diversa capacità specifica l'uno dall'altro, ossia dall'avere la proprietà di dover *ricevere*, a pari masse, più o men copia di calorico per ottenere de' dati innalzamenti di temperatura, noi possiamo trarne la importante conseguenza che le *assolute* quantità di calorico che si contengono in corpi di ugual massa sono assai diverse dall'uno all'altro, benchè essi siano ad una temperatura medesima; o in altri termini che questi corpi hanno una diversa attitudine per *contenere* il calorico. Veggendo in fatti che se si

vuol raffreddare di 1° C. una libbra di ferro ed una di piombo, è d' uopo togliere molto più calorico al primo che al secondo, e che lo stesso avviene volendo raffreddare queste masse di un nuovo grado, di un terzo, ec., noi siamo indotti ad ammettere come cosa sommamente probabile che per portarle entrambe allo zero assoluto converrebbe togliere assai più calorico alla libbra di ferro che non a quella di piombo. Dico poi semplicemente esser questa una cosa sommamente probabile; giacchè non abbiamo prove indubitabili che la capacità del ferro sia sempre maggiore di quella del piombo sino a qualsivoglia bassissima temperatura. Quello che è certo, si è che le assolute quantità di calorico delle due masse sono in generale diverse; fossero anche uguali ad una qualche temperatura, sono esse subito ineguali ad un' altra temperatura che sia appena o più alta o più bassa.

Del Calorico latente, e primieramente del calorico che divien latente nelle rarefazioni de' fluidi aeriformi.

442. Se una massa d' aria per l' azione di forze esteriori viene a mutar volume senza che acquisti nè perda calorico, ella cangia sempre di temperatura; si raffredda se viene a dilatarsi, si riscalda nel caso contrario. Del riscaldamento n' abbiamo già veduto un esempio nel battifuoco ad aria; il raffreddamento si può riconoscere collocando un termometro delicatissimo entro ad una campana di cristallo donde poscia si estragga l' aria. Ora per esprimere in pochi termini questa apparente scomparsa o nascondimento del calorico, e questa sua riapparizione, sogliono i Fisici dire nel primo caso che il calorico si rende *latente*, e nel secondo che esso da *latente* diviene *libero*.

Si spiega plausibilmente questo fenomeno conce-

pendo che due uguali masse, l'una di aria densa e l'altra di aria dilatata, per potersi trovare ad una medesima temperatura abbiano bisogno di quantità totali di calorico diverse, come se fossero due corpi di natura differente (§ 441); e che l'aria dilatata ne abbia bisogno di maggior copia che la densa. Ciò posto, se noi abbiamo una massa d'aria densa, la quale si trovi, p. e., a $+10^{\circ}$C., e col diminuire la pressione da essa sostenuta la rendiamo più rara, ella verrà a trovarsi mancante di una certa quantità di calorico per poter avere anche dopo la dilatazione la medesima temperatura di $+10^{\circ}$C., e con quello che contiene dovrà porsi ad una temperatura più bassa. Dicasi l'opposto rispetto alle condensazioni: quella quantità di calorico che può tenere, p. e., a $+10^{\circ}$C. una massa d'aria di data densità, sarà più di quanto occorre per tale temperatura se quest'aria verrà resa alquanto più densa, e la farà essere ad una temperatura più elevata.

Passiamo a vedere come un tale cangiamento di temperatura serva a dare la spiegazione di diversi fenomeni.

443. Uno di questi può essere quello che osservavasi nella celebre macchina di Schemnitz nell'Ungheria (1). Si estraeva con questa l'acqua da una profonda miniera, facendola spinger fuori dalla pressione di una massa d'aria fortemente condensata. Ora se quest'aria si lasciava uscir fuori dal recipiente ove era rinchiusa, raffreddavasi ella cotanto per la sua istantanea dilatazione (2), che il vapore acqueo in essa diffuso gelava; e ponendo dinanzi al getto aereo un qualche corpo, questo veniva coperto d'una specie di neve.

444. Una assai felice applicazione del cangiamento di temperatura dell'aria in grazia della variazione del volume, si è quella fatta da Laplace per ispiegare

(1) *Phil. Trans.* t. LII, p. 547.
(2) Bellani, nel *Giornale di Brugnatelli*, anno 1808, p. 428.

come la effettiva velocità del suono trovata per mezzo delle sperienze sia maggiore di quella che si deduceva dal calcolo.

Incominciando da Newton che fu il primo a determinare col calcolo la velocità del suono, e venendo insino ai nostri giorni, tutti i Matematici si accordano nel conchiudere, che stando alla legge di Mariotte, questa velocità, nell'aria comune atmosferica alle temperature ordinarie, dev'essere di circa 280 metri per secondo. Tutte le osservazioni più esatte in vece vanno d'accordo nel ritrovare che il suono percorre nell'aria circa 340 metri al secondo. Dopo che si ebbe studiato assai e inutilmente per rintracciare la causa di questa anomalia, venne alla fine il felice pensiero a Laplace di aver riguardo alla proprietà che ha l'aria di riscaldarsi mentre viene condensata, e di mostrare perciò ai primi istanti una maggiore forza espansiva di quello che il calcolo dedurrebbe dalla sola considerazione del condensamento, e di raffreddarsi in vece quando si dilata, e di perdere di forza espansiva più che non verrebbe dato dalla semplice rarefazione senza cangiamento di temperatura. Applicando queste pensiero alle dottrine della propagazione del suono, egli vide che la velocità reale di questo deve necessariamente essere maggiore di quanto si deduce senza una tale avvertenza.

445. A dare però compimento alla spiegazione, rimarrebbe a vedersi se la differenza delle due velocità sia precisamente tale quale risulterebbe dal riscaldamento e dal raffreddamento che vengono prodotti dalla condensazione e dalla rarefazione. Allora sarebbe rigorosamente dimostrato che queste variazioni di temperatura sono la causa unica che ha parte in cotale differenza. Onde arrivare però a questa cognizione, converrebbe sapere quanto sia il raffreddamento prodotto da una determinata rarefazione, e quanto sia il riscaldamento cagionato da una determinata condensazione.

Per una siffatta determinazione riescono affatto inutili i termometri comuni posti entro a recipienti ove l'aria si dilati o si condensi, comunque essi sieno pronti nelle loro indicazioni. Perciocchè, se a cagion d'esempio l'aria si dilata e si raffredda, appena incomincia il termometro ad abbassarsi, che l'aria ha già quasi interamente ripigliata la temperatura primitiva; essendo ella in fatti di una piccolissima massa per grande che sia il vaso, ed avendo una assai piccola capacità *totale* pel calorico, le basta di questo una pochissima quantità per ritornare alla temperatura primitiva; e questa tenue quantità può prenderla quasi tutta in un brevissimo tempo alle pareti del vaso. Di qui è che se in grazia della dilatazione l'aria si raffredda anche di 15° C. o di 20° C., il termometro non indica al più che un grado centigrado o due.

Sono assai più adattati, attesa la loro grande prontezza, i termometri metallici di Bréguet (1), de' quali daremo a suo tempo la descrizione (§. 661). Ma non valgono nemmeno essi a indicare esattamente il grado del raffreddamento: bastano soltanto a mostrare in modo chiarissimo il fenomeno.

Per supplire a questo difetto si sono immaginati dai moderni Fisici diversi metodi (2). Noi citeremo quello adoperato dai signori Gay-Lussac e Welter, il quale sembra essere il più esatto, e per maggiore chiarezza esporremo in succinto una delle loro sperienze (3). Avendo preparato un ampio recipiente, vi condensarono essi alcun poco l'aria contenuta, per modo che la sua densità venisse a superare alquanto quella dell'aria esteriore. Lasciato quindi trascorrere

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. V, p. 315.

(2) Gehler's *Physikalisches Wörterbuch*, Leipzig, 1827, Artic. *Erde*, p. 1050. — Laplace, *Mécanique céleste*, t. V, p. 123 e seg.

(3) Laplace, *Ibid.* p. 125.

un tempo sufficiente perchè la interna temperatura si rendesse uguale alla esterna, determinarono diligentemente la differenza fra la pressione dell'aria interna e quella dell'atmosfera, differenza che trovarono in quella particolare sperienza essere misurata da $16^{mill.},3644$ di mercurio. Ciò fatto, stabilirono essi, per una brevissima durata di tempo che non arrivò a $1/6$ di minuto secondo, la comunicazione dell'aria interna coll'esterna, di maniera che coll'uscita di una parte dell'aria condensata, la rimanente si mettesse esattamente in equilibrio colla pressione dell'atmosfera la quale era di 757 millimetri di mercurio; quindi tolsero immediatamente di nuovo la comunicazione, e lasciarono che a poco a poco l'aria interna si rimettesse dal raffreddamento che aveva sofferto nell'istantanea dilatazione. Quando si credette che la temperatura interna fosse tornata esattamente al grado di prima, che era di 13° C., osservarono di quanto si fosse per questo motivo aumentata la tensione dell'aria interna, e trovarono che un tale aumento era di mill. 4,4409; il che fece loro conoscere che l'aria nel suo rarefarsi si era raffreddata di 1°,6310 C.; giacchè, come a suo luogo vedremo, dee raffreddarsi di tanto una massa d'aria della temperatura di +13° C., e chiusa in un vaso di capacità invariabile, per portarsi da una tensione di mill. 761,4409, ad una di mill. 757.

La rarefazione da cui derivò questo raffreddamento fu tale, che la tensione ad uguale temperatura passò da millim. 773,3644 (cioè millim. 757 +16,3644) a millim. 761,4409, vale a dire tale che posta =1 la densità primitiva, venne questa a diminuire di 0,015418. Il che corrisponde a 1° C. di raffreddamento per una diminuzione di $1/106$ nella densità.

Molte altre sperienze fecero i suddetti autori con grandissima diligenza, a varie tensioni dell'aria e a varie temperature; e dai risultamenti che ottennero si può trarre questa conseguenza gènerale che una massa

d'aria asciutta, la cui tensione si trovi compresa fra 144$^{mill.}$ e 1460$^{mill.}$ di mercurio, e la cui temperatura sia fra —10° C. e +40° C. (*), viene sempre a variare di 1° C. nella temperatura per un cangiamento di $\frac{s}{100 + \frac{3}{10} t}$ nella densità, posto che t sia la sua temperatura espressa in gradi centigradi avanti il cangiamento.

Cercò il Laplace di applicare i risultamenti di queste sperienze alla velocità del suono. Propose per questo oggetto che si determinasse di nuovo questa velocità con quelle diligenze che lo stato attuale della scienza faceva conoscere necessarie; il che essendo stato eseguito, si trovò che, sotto la pressione barometrica di 755$^{mill.}$,6 di mercurio, alla temperat. di +15°,9 C., segnando 72° l'igrometro di Saussure, ella è di 340^{metri},889 per minuto secondo. Avendo quindi sottomesso a calcolo i risultamenti di Gay-Lussac e Welter, trovò che per l'aria asciutta, alla temperatura di 15°,9 C. essi danno una velocità di metri 337,144. Aggiungendo metri 0,571 per l'effetto probabile dell'umidità sparsa nell'atmosfera si hanno metri 337,715, colla sola differenza di metri 3,174 dalla effettiva sperienza; la quale piccola differenza, anzichè da erroneità dei principii assunti da Laplace, sembra piuttosto dipendere dalle inesattezze di varii dati somministrati dalle sperienze i quali egli ha dovuto introdurre ne' suoi calcoli, e specialmente dalle inesattezze onde sono ancora affetti i risultamenti di Gay-Lussac e Welter.

446. Alcuni autori, ammettendo che la vera misura

(*) Laplace, *Mécan. cél.*, t. V, pag. 97 e 127. Alla pag. 97 Laplace asserisce che le sperienze di cui si tratta furono eseguite fra le temperature —10° C. e +40° C., e fra la pressione di due atmosfere e quella di un ventesimo di atmosfera; alla pag. 127 in vece si trova asserito che tali sperienze furono eseguite fra le temperature di —20°, e +40°, e fra le pressioni di 144$^{mill.}$, e di 1460$^{mill.}$ In questa discordanza, io mi sono attenuto per maggior sicurezza ai limiti più ristretti.

della variazione di temperatura di cui si tratta, sia quella d'onde il calcolo deduce quella medesima velocità del suono che viene data dalle sperienze, hanno cercato di determinare in tale supposto la legge di una tale variazione. Per questa via hanno avuto de' risultamenti alcun poco più grandi dei precedenti. Poisson, p. e., trova che a $+12°,5$ C., per avere un cangiamento di temperatura di 1° C. nell'aria asciutta, è bastevole un cangiamento nella densità di 0,008956 del suo valore, ossia di circa $1/112$ (1). Convien nulladimeno confessare, che sebbene questo metodo dia forse i risultamenti più esatti, non ci convince però bastevolmente di questa loro esattezza.

447. Il sig. Dulong ha procurato di determinare questo effetto della variazione del volume in altri fluidi aeriformi differenti dall'aria, appoggiando questa determinazione alla velocità che ha il suono in ciascuno di questi fluidi. Riguardo all'aria, egli trovò al pari di Poisson un risultamento alcun poco maggiore di quello dato dalle sperienze di Gay-Lussac e Welter; in quanto agli altri fluidi aeriformi, ritrovò che i tre gas semplici, l'ossigeno, l'idrogeno, e l'azoto, e fra i composti il gas ossido di carbonio si comportano quasi allo stesso modo dell'aria, vale a dire che per un somigliante cangiamento di volume, variano nella temperatura pressochè d'un medesimo numero di gradi. Diversamente però si comportano gli altri gas composti, come sarebbe il gas acido carbonico, l'ossido d'azoto, ec. (2)

448. Con questi principii spiega molto felicemente il Dalton la degradazione che si osserva nella temperatura dell'aria a proporzione che si ascende in alto,

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXIII, p. 11. Il risultamento esposto da Poisson si è di $1°,513$ C. per una variazione di volume di 0,01355; il che, fatta la proporzione, corrisponde ai numeri da noi dati qui sopra.

(2) *Ann. de Chim. et de Phys.*, t. XLI, p. 113.

si elevandosi al di sopra delle pianure per mezzo degli areostati, come salendo sulle montagne, degradazione che nel primo caso è di circa un grado centigrado per ogni 160 metri di salita, e nel secondo di circa un grado centigrado per ogni 200 metri (*).

Questo fatto, del quale per lo addietro non si era potuta dare nessuna soddisfacente spiegazione, si attribuisce da Dalton alla variazione di volume che l'aria soffre quando agitata dai venti o da altre circostanze atmosferiche viene portata a luoghi o più bassi o più elevati. Supponendo che durante questi movimenti una data massa d'aria conservi la medesima quantità assoluta di calorico, egli è chiaro che se partendo dalla superficie terrestre, con una temperatura determinata, ella si trasporterà in alto, acquisterà essa a proporzione che si andrà innalzando un maggior volume e si raffredderà; tornando a discendere, si dovrà di nuovo condensare e riscaldare, e alle diverse elevazioni dovrà avere quella temperatura che è voluta dalla corrispondente densità.

Non si ha però rigorosamente nell'atmosfera quella legge di degradazione che sarebbe richiesta dalla variazione della densità; converrebbe a quest'uopo che l'aria, avendo in sul principio a parità di masse una medesima quantità di calorico dappertutto, non potesse poi nè perderne nè acquistarne nelle varie vicende a cui ella soggiace; il che è ben lontano dall'esser vero, essendo questo fluido continuamente soggetto a molte estranee cagioni di riscaldamento e di raffreddamento. Vi ha in fatti il contatto col suolo, che ora scalda ed ora raffredda gli strati più bassi dell'atmosfera, vi sono i raggi solari che la attraversano, i raggi calorifici che vengono dagli altri corpi esteriori al globo, quelli che la superficie del suolo manda verso gli spazii celesti, i quali raggi tutti vengono più o meno inter-

(*) Daubuisson, *Géognosie*, ediz. 1819, t. I, p. 440.

cettati dalle molecole aeree; vi ha il riscaldamento e il raffreddamento prodotto dalle nubi, dalla pioggia, dalla neve, dalla grandine, le quali meteore allorchè si formano riscaldano le masse d'aria ove hanno origine pel calorico che rendono libero (vedi più sotto ai § 457 e 464), allorchè si sciolgono nuovamente in vapore invisibile cagionano freddo, e nei loro movimenti comunicano la loro temperatura alla massa d'aria fra cui vengono a trasportarsi. Ora queste, ed altre cause ancora, non compensandosi fra loro, ed operando diversamente ne' varii tempi e ne' varii strati dell'atmosfera, modificano possentemente la legge menzionata, e fanno sì che la degradazione effettiva non sia nè costante nè regolare, e ch'ella non si debba dedurre col calcolo dall'effetto della variazione del volume, ma bensì s'abbia a ricavare dalle osservazioni dirette.

449. *Osservazione.* Segue dalle cose dette che nei fluidi aeriformi la capacità pel calorico a *volume costante* è minore di quella che essi mostrano a *pressione costante*, la quale è quella da noi data nella seconda tavola del § 434; s'intende di dire che a voler riscaldare di un dato numero di gradi una massa d'aria rinchiusa in un vaso inestensibile si richiede una minore quantità di calorico che a riscaldarla del medesimo numero di gradi, quando possa liberamente dilatarsi. Perocchè se dopo averla riscaldata mentre può dilatarsi, noi la veniamo a restringere al primitivo volume, le dobbiamo ritogliere molta parte del calorico comunicatole, per levarle l'aumento di temperatura cagionato dal restringimento e ridurla alla sola temperatura datale col primo riscaldamento. Le sperienze già citate di Gay-Lussac e Welter danno pel rapporto delle due capacità relativamente all'aria il numero 1,3748; e ciò a tutte le temperature e a tutte le pressioni a cui si estesero le loro sperienze.

Scorgesi altresì dalle cose dette (§ 444) che la legge di Mariotte non vale se non allorquando il volume de'

fluidi aeriformi si muta lentamente, ovvero ne' casi in cui la forza espansiva di questi fluidi si misuri dopo cessati i cangiamenti di temperatura prodotti dal variar del volume; e che quando i volumi cangiano istantaneamente, la forza espansiva suddetta cresce e scema colle densità secondo una legge più rapida che non fanno queste. Se poi avverrà mai che si conosca esattamente quest'ultima legge, si potrà allora dir qualche cosa sul decremento della vicendevole ripulsione delle molecole aeriformi a proporzione che esse si allontanano l'una dall'altra, nel supposto che in questo allontanamento ciascuna conservi una costante quantità di calorico. Ma una siffatta questione, la quale d'altronde uscirebbe dai confini del nostro Corso, è ancora prematura.

Del Calorico che si rende latente ovvero libero nei cangiamenti di stato.

450. *Calorico che si rende latente nel passaggio dei solidi allo stato liquido.* Quando un corpo passa dallo stato solido al liquido, assorbe per questo solo passaggio una considerabile quantità di calorico, senza che questa contribuisca punto ad innalzare la temperatura. Mescendo una libbra di ghiaccio a 0° R. con una di acqua a +60° R. (+75° C.) se ne ottengono due libbre di acqua non già a +30° R., ma a 0°; talchè una libbra di ghiaccio a 0° assorbe nel solo fondersi tanto calorico quanto ne vien perduto da una libbra d'acqua nel raffreddarsi da +60° R. a 0°, ossia quanto una libbra d'acqua dovrebbe prenderne per passare da 0° a +60° R.

Si esprime qui pure un tal fatto dicendo che nella fusione dei corpi si rende *latente* una certa quantità di calorico. E può esser riferito anch'esso alla diversa quantità assoluta di calorico di cui hanno bisogno due corpi di diversa natura, ma di ugual massa, onde avere

una medesima temperatura; puossi cioè ritenere che due masse uguali di una medesima sostanza, l'una allo stato solido e l'altra allo stato liquido ed entrambe ad una stessa temperatura, cioè a quella temperatura a cui l'una è in procinto di fondersi e l'altra di solidificarsi, sieno nella condizione di due corpi di natura diversa (§ 441), e che per essere ad ugual temperatura la massa liquida abbisogni di maggiore quantità di calorico che non la solida. Di qui è che per ridurre la massa solida allo stato di liquidità senza che si cangi la temperatura, non basta il calorico che in essa già si contiene, ma se ne esige una nuova quantità che equivalga alla differenza fra le due accennate quantità assolute.

V'ha un'altra maniera di dar ragione del fatto (*); noi ci siamo attenuti a quella che ci è parsa più semplice.

451. Per vedere in qual modo si proceda per determinare la quantità di calorico che si rende latente nella fusione del ghiaccio, esporrò nelle sue particolarità una esperienza da me fatta su questo proposito.

Presi un recipiente di ferro del peso di chilogr. 0,2443.

Lo riempii a due terzi all'incirca di acqua ben calda, e pesai diligentemente, e coll'acqua contenuta il trovai di . . . . . chilogr. 0,6715.

Dopo pesato il collocai su di un treppiede rovesciato che presentava al fondo di esso recipiente tre acute punte di legno, e ciò affinchè avendo pochissimi punti di contatto cogli altri corpi, potesse meglio conservare il calorico. Quindi vi immersi un piccolo termometro a mercurio, e ve lo agitai per qualche tempo, e quando mi parve ch'egli avesse presa la temperatura dell'acqua, osservai il grado che indicava, e trovai . . . . . +54° ½ R.

Immediatamente dopo fatta questa osservazione, vi feci porre del ghiaccio pestato e scolato che un inserviente teneva pronto, e prestamente lo agitai col termometrino insino a che fosse tutto liquefatto; e appena finita la fu-

(*) Haüy, *Physique*, t. I, § 213.

sione, osservai qual grado questo termometro indicasse, ed ebbi . . . . . +21° 1/3 R.

Allora levai il recipiente dal treppiede di legno, lo posi per la terza volta sulla bilancia, e trovai che l'aggiunta del ghiaccio fece ascendere il total peso a . . chilogr. 0,8570.

Da ciò ho potuto inferire:

1.° Che la massa dell'acqua calda posta nel recipiente, in sul principio, e che aveva per misura la differenza delle prime due pesate era di . . . . . chilogr. 0,4272.

2.° Che la massa del ghiaccio fuso data dalla differenza delle due ultime pesate, fu di . . . . . chilogr. 0,1855.

3.° Che il raffreddamento sofferto dall'acqua calda, dal recipiente che la conteneva, e insieme dal termometrino, fu di gradi Reaumuriani . . . . . 33 1/6.

Su questi dati ho instituito il seguente calcolo.

Ho preso, per la presente ricerca, ad unità delle quantità di calorico quella quantità di esso che serve a scaldare un grano metrico o decigrammo di acqua di 1° R. In questo supposto, la quantità di calorico abbandonata dalla massa d'acqua calda nel raffreddarsi da +54° 1/2 R. a +21° 1/3, è data da 4272.33 1/6, ossia da. . . . . 141688.

Il recipiente di ferro, il cui peso è di grani metrici 2443, e la cui capacità specifica è 0,1098, equivale nella capacità *totale* pel calorico a grani di acqua 2443.0,1098, ossia 268. Perciò il calorico abbandonato da cotesto recipiente nel raffreddarsi da +54° 1/2 a +21° 1/3 è data da 268.33 1/6, ossia da . . . . . 8889.

Rimane a determinarsi la quantità di calorico perduta dal piccolo termometro. La parte di questo che stava immersa nell'acqua, fra mercurio e vetro io la giudicai del volume di 7 grani metrici di acqua; onde essendo la capacità pel calorico a parità di volume, tanto pel vetro che pel mercurio, circa 0,44 di quella dell'acqua, ho ritenuto che la capacità *totale* della parte immersa di questo strumento fosse eguale a quella di 3 grani metrici di acqua. La quantità adunque di calorico perduta dal termometro si può valutare 3.33 1/6, ossia a . . . . . 100.

Sommando le tre precedenti quantità di calorico, si ha la totale quantità di calorico perduta durante la fusione del ghiaccio dall'acqua che vi era dapprima, dal recipiente, e dal termometro, la quale è data dal numero . . . 150677.

Questa quantità di calorico è stata impiegata parte a fondere il ghiaccio, e parte a riscaldare l'acqua risultante da $0°$ a $+21° 1/3$ R. Esprimiamo in numeri le due porzioni separatamente impiegate in questi due effetti.

Chiamando x il numero de' gradi di cui si scalderebbe una massa d'acqua per mezzo del calorico che può fondere una ugual massa di ghiaccio, le unità di calorico prese dai nostri 1855 grani di ghiaccio nella loro fusione sono $1855.x$.

La quantità di calorico ricevuta dall'acqua risultante dalla fusione, nel passare da $0°$ a $+21° 1/3$ R. è $= 1855.21 1/3 = 39573$.

La totale quantità di calorico adunque ricevuta dal ghiaccio e dall'acqua che n'è risultata è data da

$$1855.x + 39573$$

Ma questa è uguale a quella perduta dall'acqua calda, dal recipiente, e dal termometro; dunque si avrà

$$1855.x + 39573 = 150677$$

da cui

$$x = \frac{150677 - 39573}{1855} = 59°,9 \text{ R.}$$

452. Siccome allorquando il ghiaccio è in procinto di fondersi, la quantità che ne vien fusa è sempre nella esatta proporzione del calorico assorbito, e siccome altresì questa quantità di ghiaccio che vien fusa si può misurare con grande precisione, così noi possiamo avere in questa fusione del ghiaccio un comodo metodo per misurare le quantità di calorico e per indicarle. Egli basta a ciò di determinare e di indicare quanto sia il ghiaccio che una data quantità di calorico può fondere.

A questa determinazione serve utilmente il *Calorimetro di Lavoisier e Laplace.* Consiste un tale strumento in tre recipienti di latta posti l'un dentro l'altro, e separati da due intervalli che si riempiono di ghiaccio pestato, con gli opportuni artificii perchè l'acqua che scola dall'uno e dall'altro intervallo venga raccolta separatamente (Veggasi la fig. 6). Si pone il corpo riscaldato, dal quale deve essere abbandonato il calorico che vuol misurarsi, dentro al recipiente più interno. Ivi esso va perdendo calorico insino a che

siasi ridotto a 0°, e questo calorico comunicandosi alle pareti di latta di tale più interno recipiente, viene trasmesso al ghiaccio contiguo di cui viene a fondersi una certa quantità. Si raccoglie l'acqua che ne risulta, e questa serve di misura della quantità del detto calorico. Nè vi ha pericolo che il calorico de' corpi esteriori concorra a questa fusione, essendo questo tutto trattenuto dal ghiaccio più esterno ed impiegato nella sua fusione.

453. Volendosi con questo strumento determinare le capacità specifiche dei corpi pel calorico, si collocano questi nel recipiente più interno, riscaldati ad una temperatura esattamente conosciuta, e si osserva quanto ghiaccio facciano fondere nel raffreddarsi sino allo 0°, e da questo dato e insieme dalla loro massa si deduce la loro capacità specifica nel modo che si vedrà dall'esempio seguente. Supponiamo che 16 libbre di ferro a +51° C. (+40°,8 R.) abbian fuse libbre 1,2 di ghiaccio; è chiaro che una sola libbra di ferro a +75° C. (60° R.) potrebbe fondere una quantità di ghiaccio che starebbe alla precedente come

$$1.75 : 16.51$$

cioè una quantità x data dalla proporzione

$$16.51 : 1.75 :: 1,2 : x$$

e sarà $x = 0,110$. Ma una libbra d'acqua a +75° C. fa fondere precisamente una libbra di ghiaccio; e le capacità specifiche del ferro e dell'acqua sono come le quantità di calorico che essi perdono ad ugual massa e ad uguale raffreddamento, ossia come le quantità di ghiaccio che da questo calorico possono esser fuse; dunque chiamando 1 la capacità specifica dell'acqua, sarà 0,110 quella del ferro.

Con questo strumento si può altresì molte volte determinare la quantità di calorico che si sviluppa nella combustione dei corpi e nella respirazione degli animali. A quest'oggetto s'aggiungono allo strumento due tubi, l'uno dei quali serva per condurre nella capa-

cità più interna l'aria destinata a mantenere ivi la combustione o la respirazione, e l'altro serva a ricondur fuori quella che è già stata adoperata nell'uno o nell'altro dei due processi. Ambedue questi tubi sono circondati da ghiaccio, affinchè l'aria entri ed esca a 0°. L'acqua prodotta dalla fusione del ghiaccio pel passaggio dell'aria dal primo tubo dev'essere rigettata; all'incontro deve essere raccolta con diligenza quella che nasce dalla fusione del ghiaccio pel passaggio dell'aria nel secondo tubo, poichè questa è dovuta al calorico che si sviluppa durante la sperienza. L'apparecchio deve perciò essere disposto in maniera che il secondo tubo faccia parte della capacità che sta intorno al recipiente più interno; la qual cosa è facile ad ottenersi, bastando far sì che questo tubo giri nel ghiaccio di questa medesima capacità (*).

454. Non è il solo ghiaccio che renda latente il calorico nel fondersi, ma il fanno in generale tutte le sostanze solide. Ecco le quantità di calorico che secondo Black vengono assorbite nella fusione di una libbra di ciascuna delle seguenti sostanze:

Spermaceti (fusibile a +49° C.) assorbe fondendosi tanto calorico quanto basta a liquefare libbre di ghiaccio 1,1
Cera (fusibile da +61° C. a +68° C.) 1,3
Stagno (fusibile a +210° C.) 3,7

455. *Mescolanze frigorifiche.* Mescolando alcuni sali con neve o con ghiaccio minutamente pesto, si ottiene un mescuglio assai più freddo di quello che fossero i componenti. Il veggiamo nel mescolare ghiaccio con sal comune, ottenendosene un raffreddamento che arriva sino a —14° R. (17°,5 C.); dal che si trae partito nella state per fare i *sorbetti*. Con muriato di calce cristallizzato e neve si può ottenere un freddo anche di —40° R. (—50° C.), e si può far gelare il mercu-

(*) Thénard, *Chimie*. Paris, 1821, t. I, p. 93.

rio. La ragione del fenomeno si è che fra il ghiaccio o la neve e i suddetti sali succede una tal vicendevole azione che reciprocamente si fondono, e la fusione rende latente una certa quantità di calorico.

Avvien lo stesso mescolando in debite dosi la neve con degli acidi o con degli alcali. Anzi si può ottenere freddo collo sciogliere semplicemente nell' acqua alcuni sali, ponendo, p. e., in una medesima massa d'acqua del nitro e del sale ammoniaco; il che è molto comodo specialmente quando non si abbia in pronto del ghiaccio.

Mescolando acido solforico con molta neve si ha freddo, con poca in vece si ha caldo. Questa singolarità dipende dall' esservi qui due circostanze di effetti contrarii, il fondersi cioè della neve il quale produce raffreddamento, e il mescolarsi dell' acido coll'acqua dal quale si sviluppa calore; delle quali due circostanze quando la neve è molta prevale la prima, quando è poca prevale la seconda.

Quando si vuole un intensissimo freddo, si comincia a far raffreddare separatamente le due sostanze che si vogliono mescolare insieme, quindi si uniscono e si mescolano.

456. Ecco una tavola de' risultamenti ottenuti con varie di queste mescolanze (*).

SOSTANZE IMPIEGATE		RAFFREDDAMENTO PRODOTTO	
Sali ed acqua.			
Nitrato di ammoniaca parti	1	da +10° C.	a −15°,55
Acqua	1		
Nitrato di potassa	5	da +10°	a −12°,22
Muriato di ammoniaca	5		
Acqua	16		
Sali ed acidi.			
Solfato di soda	5	da +10°	a −16°,11
Acido solforico allungato	4		

(*) Thénard, *Chimie*, 1821, t. II, p. 316.

Neve con sali o acidi o alcali.

Neve . . . . . 1 Sal comune 1	da	0° C.	a —17°,77(*)
Neve . . . . . 1 Muriato di calce cristallizzato e pestato 2	da	—17°,77	a —54°,44
Neve . . . . . 1 Muriato di calce come sopra. 3	da	—40°	a —58°,33
Neve . . . . . 3 Potassa 4	da	0°	a —28°,33
Neve . . . . . 1 Acido solforico allungato 1	da	— 6°,66	a —51°
Neve . . . . . 8 Acido solforico allungato 10	da	—55°,55	a —68°,33

457. *Calorico che divien libero nel passaggio dei liquidi allo stato solido.* Prendiamo un piccolo vaso di ferro con entro un po' di mercurio affine di poterne riconoscere con maggiore facilità la temperatura, portiamolo in un luogo dove la temperatura sia d'alcuni gradi inferiore a 0°, p. e. a —10° C., e ivi lasciamolo qualche tempo onde anch'esso si raffreddi sino a —10° C. Poscia recata colà dell'acqua che sia precisamente in procinto di gelare, versiamone tale quantità che quasi il riempia: si formerà un po' di ghiaccio, ma una gran parte dell'acqua rimarrà ancora liquida, ed esplorata col termometro la temperatura sì dell'acqua col ghiaccio che del mercurio col vaso, troveremo tutto precisamente a 0°. Donde venne quel calorico che scaldò il mercurio col vaso? Da quella

(*) Non è necessario che in questa mescolanza la temperatura primitiva del sale sia 0°, ottenendosi il medesimo grado di freddo anche quando la suddetta temperatura primitiva sia di +16° C. o di +20° C. Soltanto, allorchè è bassa questa temperatura primitiva, si fonde poca quantità del mescuglio per dare immediatamente i —17°,77 C.; il resto si fonde a poco a poco per mantenere questo grado di freddo.

parte d' acqua che passò allo stato di ghiaccio; la quale in questo passaggio rendette libera una notabile quantità di calorico cui ella teneva latente essendo liquida (§ 450).

Una cosa somigliante ha luogo per qualsivoglia altra sostanza che passi allo stato solido.

458. *Calorico che si rende latente nel passaggio de' liquidi allo stato aeriforme.* Se noi abbiamo dell'acqua già bollente, cioè a +100° C. (+80° R.), e la vogliamo far passare allo stato di vapore mediante l'ebullizione, dobbiamo comunicarle una quantità di calorico che si stima uguale a 5 3/8 volte quella con cui si potrebbe recarla da 0° a +100° C., o, ciò che torna allo stesso, uguale a 7 1/6 volte quella che potrebbe fondere altrettanto ghiaccio. E questo calorico vien tutto impiegato nella riduzione allo stato aeriforme, talchè il vapore ottenuto è ancora precisamente a +100° C. Una simil cosa si osserva in tutti gli *altri* liquidi, i quali tutti qual più qual meno ogni volta che passano allo stato aeriforme rendono latente una certa quantità di calorico; e si può attribuire anche questo fatto alle diverse quantità assolute di calorico che debbono contenere corpi di ugual massa ma di diversa natura per essere ad una temperatura medesima.

459. In conseguenza di questo l'evaporazione spontanea dei liquidi produce raffreddamento.

Riguardo all' acqua il possiamo riconoscere tuffando semplicemente in questo liquido il bulbo di un delicato termometro a mercurio, e quindi dopo averlo estratto lasciando evaporare il velo liquido che lo bagna; con che ne' tempi secchi si ottiene un abbassamento di temperatura di cinque, sei, ed anche più gradi della scala centigrada. Il raffreddamento è maggiore se si riveste un tal bulbo con un piccolo pezzo di pannolino o di spugna, e dopo bagnato lo si agita nell'aria. In questi casi il liquido per certa sua forza evaporante di cui parleremo nel seguito, emette dalla sua superficie una

parte della propria massa in istato di vapore, e altresì le comunica in concorrenza coll'aria contigua una certa quantità di calorico, non già tanto quanto occorrerebbe per mantenerle nel suo nuovo stato la temperatura antecedente, ma un po' meno, cioè tanta quantità solamente che il liquido e l'aria raffreddatisi per una tale perdita, e il vapore non abbastanza riscaldato dal calorico somministratogli sieno, nella superficie di contatto, ad equilibrio di temperatura. Quanto più l'aria è secca, tanto maggiore è il raffreddamento che si ottiene, essendo più copiosa la quantità di vapore che in pari tempo può da quest'aria venir ricevuta.

460. Questa proprietà dell'evaporazione in molte occasioni vien messa a profitto. Alla state si asperge di acqua il suolo delle camere e delle strade, affinchè mediante l'evaporazione si rinfreschino. In Ispagna, in Egitto, e in altri paesi caldi si suole rinfrescar l'acqua e le altre bevande col porle in vasi di terra porosa detti *alcarazas*; questi lasciando trapelare il liquido fino al contatto dell'aria, ne permettono un'abbondante evaporazione, e se n'ha un raffreddamento di parecchi gradi sotto la temperatura dell'ambiente. Giova che l'aria sia alquanto agitata; perciò ne' viaggi *soglionsi* questi vasi appendere al ventre dei cammelli.

461. Con queste dottrine riesce facilissimo a spiegarsi il fatto, che se, dopo aver lasciata per un tempo sufficiente dell'acqua in una camera entro un vaso scoperto, talchè abbia avuto tutto il comodo di arrivare ad una temperatura stazionaria, noi vi immergiamo un termometro, la troviamo sempre di qualche mezzo grado più fredda dell'aria ambiente. Varia poi questa differenza secondo la qualità del vaso, secondo ch'egli è più o men ripieno, secondo la secchezza e l'agitazione dell'aria.

462. Leslie ottenne con questo mezzo di fare gelar

l'acqua. Pose sotto la campana della macchina pneumatica un piccolo vaso pieno di acqua e insieme un vaso più grande con dell'acido solforico concentrato. Fatto il voto, l'acqua evaporò prontamente, mancando l'aria che suol essere un ostacolo all'evaporazione; l'acido solforico assorbì avidamente i vapori che si andavano formando e impedì che essi riempiendo lo spazio fossero d'ostacolo al proseguimento dell'evaporazione; e da questo passaggio allo stato aeriforme in più maniere favorito ed accelerato si ebbe tale abbassamento di temperatura che l'acqua gelò. Volendo ripetere questa sperienza in estate, giova prendere dell'acqua che non sia purissima, ma che tenga qualche sostanza straniera in sospensione, p. e. della polvere di mattone; altrimenti avviene facilmente ch'ella rimanga liquida anche a qualche grado sotto di 0°. Però non è questo il massimo raffreddamento che si possa ottenere per mezzo dell'evaporazione dell'acqua. Usando in fatti parecchie precauzioni, e fra le altre quella di bagnar la campana ove si fa il voto con un liquido evaporabile, Leslie e Configliachi arrivarono a far gelare il mercurio (1). Anzi quest'ultimo, essendo la temperatura dell'aria a +20° C. ottenne un raffreddamento di —41° 1/4 C. (2).

463. L'alcool siccome più evaporabile produce maggior raffreddamento che l'acqua: in quelle circostanze che per l'evaporazione di questa sul bulbo d'un termometro rivestito d'un pannilino non si avrà che un raffreddamento di 3° o 4° R., dall'alcool se n'avrà uno di 8° o 10°.

Dall'etere solforico si ha un freddo ancor maggio-

(1) Il ch. Professore Abate Pietro Configliachi, mio illustre maestro, fe' stampare in Pavia nel 1811 un'importante memoria sul freddo prodotto dall'evaporazione, della quale si trova un copioso estratto nel tomo XLIX della *Bibliothèque Britannique, Sciences et Arts*, a p. 124 e 220.

(2) *Bibl. Britan. Sciences et Arts*, t. XLIX, p. 143.

re, come si può provare versandone su d'un braccio nudo o sul rovescio della mano. Un animale perirebbe se si coprisse con una stoffa, e questa si tenesse per qualche tempo inzuppata di questo liquido.

Rivestendo la bolla d'un termometro con una spugna e inzuppando questa di sulfuro di carbonio, o meglio ancora di acido solforoso liquido, che sono due liquidi estremamente evaporabili, si ottiene un freddo assai più grande ancora. Il sig. Alessandro Marcet dall'evaporazione del sulfuro di carbonio nel voto ottenne un freddo di —81° a —82° della scala di Fahrenheit, cioè di —62° 7/9 a —63° 1/3 della scala centigrada (*).

464. *Calorico che divien libero nel passaggio dallo stato aeriforme al liquido.* Quando i vapori ripassano allo stato liquido, il calorico che erasi reso latente torna nuovamente libero. Lo si dimostra facendo bollire dell'acqua, e guidando il vapore che ne nasce dentro un vaso di acqua fredda: si trova che questa viene con ciò a riscaldarsi assai più che se vi entrasse altrettanta acqua alla stessa temperatura di esso, cioè a +100° C. Ora il di più è appunto quel calorico che viene abbandonato dall'acqua nel ripassare dallo stato aeriforme a +100°C. allo stato liquido pure a +100°C.

465. Essendosi ricercato per mezzo di molte sperienze quanta sia questa quantità di calorico si è trovato essere ella prossimamente uguale

a 430 volte quel calorico che può riscaldare altrettanta acqua di 1°R., ossia

a 537 1/2 volte quello che la riscalderebbe di 1°C., ossia altresì

a 5 3/8 volte quello che può rendere bollente altrettanta acqua, ossia infine

a 7 1/6 volte quello che potrebbe fondere altrettanto ghiaccio.

(*) *Biblioth. Brit. Sciences et Arts*, t. LV, p. 353.

Io esporrò circostanziatamente una sperienza da me eseguita per questo oggetto secondo il metodo del dottor Ure.

Il vaso che doveva contenere l'acqua fredda era di vetro e pesava chilogrammi 0,2710; onde avendo la capacità specifica 0,177 doveva riguardarsi equivalente, in quanto al calorico necessario a scaldarlo, ossia in quanto alla *capacità totale per ricevere il calorico* (§ 437) ad una massa d'acqua di chilogrammi . . . . . 0,0480.

Questo vaso ripieno a due terzi circa di acqua fredda pesava chil. 0,8818; perciò la sola acqua era chil. 0,6108.

La temperatura di quest'acqua all'istante che incominciò a entrarvi il vapore (il quale si andava formando in un vaso poco lontano per mezzo dell'ebullizione di altra acqua, e veniva condotto da un sottil tubo di vetro), fu di gradi . . . . . +6° R.

La temperatura dell'ambiente osservata collo stesso termometro era . . . . . +18° 1/3 R.

Si lasciò entrare vapore fino a che la temperatura fosse salita a . . . . . +30° 2/3 R.

affinchè il calorico che il vaso aveva ricevuto dai corpi circostanti mentre si trovava più freddo di essi, venisse pressochè esattamente compensato da quello che il vaso restituiva ai corpi medesimi dopo che era divenuto più caldo.

Pesato il vaso di poi, mostrò d'aver ricevuto chilogrammi di vapore . . . . . 0,0340.

La parte immersa del termometro, la qual pure veniva riscaldata dal calorico somministrato dal vapore, era prossimamente equivalente nella *capacità totale* pel calorico (V. al § 451) a chilogrammi d'acqua . . . . . 0,0003.

Ecco ora come da questi dati si possa ricavare la quantità di calorico resa libera dalla condensazione del vapore.

Chiamiamo x il numero de' grani metrici di acqua che possono venire scaldati di 1° R. dalla condensazione di un grano metrico di vapore in acqua bollente. La quantità di calorico somministrata dai 340 grani di vapore, espressa in grani metrici d'acqua scaldati di 1° R., sarà misurata da . . . . . 340.x.

Il calorico perduto dall'acqua risultante nel passare da +80° R. a +30° 2/3 R. sarà . . . . . $=340.49\,1/3=16773$.

Totale quantità di calorico perduta dal vapore . . . . . $=340.x+16773$.

Questa quantità di calorico venne impiegata nello scaldare il vaso, l'acqua contenuta, e il termometro, tutti e tre da +6° R. a +30° 2/3 R., cioè tutti e tre di 24° 2/3 R. Essendo pertanto la somma delle *capacità totali* di queste tre masse uguale a quella di grani d'acqua 480+6108+3, ossia 6591, la quantità di calorico ricevuta da tutte e tre, espressa come sopra, sarà =6591.24 2/3 = . . . 162578.

Ma questa quantità deve uguagliare quella perduta dal vapore; dunque si avrà

$$340.x+16773=162578$$

$$x=429$$

il quale risultamento è diverso appena di 1° R. da quello esposto al principio del paragrafo, e che è un medio fra quelli ottenuti dai diversi autori.

Pel buon esito della sperienza è necessario 1.° Che il vaso dell'acqua fredda sia stato asciugato esteriormente dall'umidità che per avventura lo appannasse, sì appena prima d'essere pesato, che appena prima di ricevere il vapore; altrimenti il vapore deposto dell'aria alla superficie esterna può nuocere all'esattezza de' risultamenti. L'aria può deporre del vapore anche ne' primi istanti che entra nel vaso il vapor bollente, ma insieme ella comunica del calorico reso libero da questa condensazione; e di poi ritoglie e questo vapore e questo calorico, e pare che vi sia esatto compenso. 2.° Che il medesimo vaso dell'acqua fredda sia ben isolato nell'aria, stando, p. e., collocato su tre punte di legno, affinchè non venga tolta nè data sensibile quantità di calorico ai sostegni. 3.° Che il vaso medesimo sia riparato dal calore del fuoco su cui bolle l'acqua che somministra il vapore. 4.° Che l'ebullizione sia viva onde l'esperienza s'abbia a compiere in breve tempo; con che si rendono minori le inevitabili inesattezze cagionate da varie cause esteriori che non si possono rimuovere (*).

466. Di questa grande quantità di calorico che viene abbandonata dal vapore acqueo nel condensarsi si è fatta l'importante applicazione del riscaldamento a vapore.

(*) V. *Phil. Trans.* 1818, t. II, p. 386. — Gehler's *Physikalisches Wörterbuch*, Art. *Dampf*, t. II, p. 289.

Si fa bollire dell'acqua in una caldaja, e il vapore si guida per mezzo di tubi sino ai luoghi dove se ne ha il bisogno; quivi volendo a cagion d'esempio riscaldare de' recipienti d'acqua ad uso di qualche filatojo di seta o ad altro oggetto, si introduce in questi una parte del vapore per mezzo di tubi minori diramati da un tubo principale, e questo vapore riscalda quei recipienti fino al segno che si desidera; dopo di che per mezzo di una chiave se ne sospende l'entrata fino a nuovo bisogno.

467. Riguardo alle altre sostanze ha fatto alcune sperienze il sig. Despretz (*); ed ecco le quantità di calorico che secondo lui si rendono libere in diverse di esse quando dallo stato aeriforme ripassano al liquido, espresse dalla quantità di ghiaccio che può venir fuso per un grammo di ciascuna sostanza.

Alcool (bollente a +78°,8 C., ossia +63° R.) può fondere grammi di ghiaccio 2,77
Etere solforico (bollente a +35,°5 C., ossia +28°,4 R.) 1,29
Essenza di trementina (boll. a +156°,8 C., ossia +125°,4 R. circa) 1,02

468. *Osservazione.* Noi abbiamo superiormente ammesso (§ 458) che il calorico che si rende latente nella ebullizione dell'acqua sia uguale a 5 volte e $^3/_8$ quello che può portare altrettanta acqua da 0° a +80°: però non l'abbiamo direttamente provato; l'abbiamo soltanto asserito dal sapere che tale è la quantità di calorico la quale si rende libera nel fenomeno inverso, cioè nella condensazione del vapore. Questa reciprocità sarebbe certissima quando realmente il calorico fosse una sostanza materiale; ma non essendo ciò sicuro, sarebbe bene verificare il fatto con l'esperienza. E lo stesso dee dirsi del calorico che si rende latente nel passaggio de' corpi dallo stato solido al liquido, paragonato con quello che divien libero nel passaggio inverso dallo stato liquido al solido, come pure degli analoghi fenomeni calorifici che avvengono nell'aumento e nella diminuzione di

(*) Pouillet, *Élémens de Phys.* t. I, p. 405.

volume. Intanto non si ha nessun fatto che smentisca una siffatta reciprocità.

469. Alla medesima cagione dalla quale abbiamo fatto dipendere i fenomeni precedenti, vale a dire alla variazione dell'attitudine dei corpi per contenere il calorico, attribuiscono molti anche lo sviluppo di questo ne' diversi fenomeni chimici; credono essi che in tali fenomeni una siffatta attitudine diminuisca, e che così quella stessa quantità di calorico che prima si conteneva nei corpi faccia ch' essi prendano una temperatura più elevata.

CAPO III.

DELLA PROPAGAZIONE DEL CALORICO; E IN PARTICOLARE DEL CALORICO REPENTE

470. Abbiam già detto che il calorico si trova continuamente in moto tendendo a portarsi dai luoghi ove sovrabbonda a quelli ove scarseggia. Passeremo adesso ad esaminare con quali leggi s' effettuino questi suoi movimenti.

La propagazione del calorico può avvenire in tre diversi modi:

1.° *Per comunicazione a contatto da molecola a molecola.* Questo modo ha luogo allorquando il calorico si muove nell'interno dei corpi trasmettendosi dall'una molecola all'altra, come pure allorquando passa da un corpo ad un altro che gli si trovi in contatto propagandosi per le molecole che si trovano contigue. E il calorico che in tal modo si muove dicesi *Calorico repente.*

2.° *Per moto idrostatico.* Questa maniera ha luogo nelle masse liquide e nelle aeriformi, dove le molecole più riscaldate avendo diversa densità dalle più fredde, si muovono in forza della gravità frammezzo a queste ultime seco trasportando il calorico di cui sono investite e così diffondendolo per la massa fluida.

3.° *Per irradiazione.* Questo modo succede alle superficie libere dei corpi. Ivi il calorico viene più o meno abbondantemente scagliato lontano in tante linee rette a guisa della luce, e così posto in moto prosegue il suo cammino rettilineo fino a che non incontri qualche altro corpo che ne riceva una parte entro di sè e una parte la rimandi indietro secondo una nuova direzione: che se non incontra corpo veruno esso seguita innanzi fino a distanze indefinite. Il calorico così scagliato dicesi *Calorico raggiante.*

Del Calorico repente nei corpi solidi.

471. *Nell' interno de' corpi di temperatura non uniforme il calorico si muove dalle parti più calde verso le più fredde.* Supponiamo che si abbia un corpo di qualsivoglia forma, e di qualsivoglia natura o semplice o composta, e che in esso la temperatura non sia uniforme, ma alcune parti siano più calde, ed altre più fredde; e supponiamo altresì per un momento, che il calorico non possa uscire dal corpo (*il che si* potrebbe effettivamente ottenere facendo che nei diversi punti della sua superficie gli stessero a contatto dei corpi tenuti ad equilibrio di temperatura coi punti toccati). In tale supposto tutto il calorico contenuto nel corpo si porrà in movimento; ovunque saranno vicine due molecole inegualmente calde, la più calda darà calorico alla più fredda (§ 426), e così il calorico camminerà dalle parti più calde verso le più fredde, seguitando a muoversi fino a che la temperatura sia divenuta dappertutto uniforme. A questo stato però il corpo potrà soltanto farsi successivamente più e più vicino; conseguirlo assolutamente nol potrà giammai, giacchè alloraquando la differenza delle temperature fosse divenuta leggierissima, i movimenti del calorico sarebbero lentissimi. Ad ogni modo si giungerà a differenze affatto insensibili, e queste continueranno sempre a divenire minori.

472. Nel caso pratico la perdita o l'acquisto di calorico che ha luogo alla superficie del corpo, rende più complicati questi movimenti, e toglie che il corpo possa continuare ad accostarsi e sensibilmente arrivare alla uniforme temperatura; perocchè allorquando esso vi è per avventura già vicinissimo, o una nuova quantità di calorico che giunga dall'esterno, ovvero una perdita che esso corpo debba fare per l'avvicinamento di qualche altro corpo più freddo, fa sì che la temperatura di alcune parti del corpo in questione si alteri, e così si disturbi quella uniformità che quasi era già conseguita. Subito però il calorico tende a ricomporsi di nuovo in equilibrio, cangiando direzione se è d'uopo e movendosi da quelle parti che vengono a risultar più calde verso quelle che vengono a trovarsi più fredde.

473. *La prontezza o la copia con cui il calorico passa da una parte più calda di un corpo ad una più fredda, è ad altre circostanze pari tanto maggiore quanto più si trova rapida la variazione della temperatura allo scostarsi dalla superficie che separa le due parti, ed è in ragione diretta semplice della rapidità di questa variazione.*

Supponiamo che si abbia un largo cilindro omogeneo, il quale non sia di temperatura uniforme, ma dall'una delle basi sia più caldo e dall'altra più freddo, in modo però che distinto in più strati per mezzo di diversi piani paralleli alle basi, la temperatura sia uniforme per tutta l'estensione di ciascuno di questi piani, ma cangi dall'un piano all'altro. E affinchè questa maniera di squilibrio si mantenga lungamente, supponiamo che dalla base più riscaldata gli si tenga continuamente a contatto qualche massa calda di temperatura costante, e dall'altra base qualche massa fredda similmente di temperatura costante, e che alla superficie convessa in vece si trovino contigui de' corpi tenuti incessantemente ad equilibrio di

temperatura coi punti toccati. Da questo cilindro così costituito passerà continuamente una corrente di calorico che entrando dalla base più calda uscirà dalla più fredda. Ora quello che intendiamo di dire si è, che se noi prenderemo a misurare con quale rapidità degradino le temperature nell' interno del cilindro andando dall' uno all' altro de' piani paralleli alle basi, e insieme misureremo la quantità di calorico che passa attraverso al corpo in un dato tempo, noi troveremo che essendo, p. e., 1 la quantità di calorico che passa allorchè la degradazione delle temperature è di 1° C. per ogni millimetro di allontanamento dalla base più calda, essa quantità è 2 allorchè la degradazione è di 2° C. per ogni millimetro, eh' ella è 4 quando la degradazione medesima è di 4° C. per millimetro, ec.

Questo, che abbiamo cercato di rischiarare con l' addotto esempio, è una verità generalissima la quale ha luogo per qualsivoglia forma di corpi e per qualunque maniera di distribuzione delle temperature. Si verifica cioè sempre questa legge, che se una superficie o piana o curva di temperatura uniforme distingue due parti di un corpo omogeneo che siano a temperature diverse, la copia o abbondanza colla quale a un dato istante passa il calorico da questa superficie venendo dalla parte più calda ed avviandosi verso la fredda, è in ragione diretta semplice della rapidità con cui vanno abbassandosi le temperature dall' una banda di quella superficie a proporzione che si contemplano de' punti più e più lontani da essa, e con cui vanno elevandosi le temperature medesime dalla banda opposta.

Che la trasmissione del calorico si renda più o men copiosa secondo il crescere e lo scemare della rapidità della suddetta degradazione delle temperature, è cosa affatto ovvia; perciocchè alloraquando è più rapida la legge di questa degradazione, le molecole che si trovano vicine e che debbono cedersi calorico le une alle altre, hanno differenze più grandi

di temperatura, e si debbono comunicare quantità di calorico maggiori. Che poi queste quantità abbiano da essere in ragione diretta semplice di tali differenze di temperatura, ossia della *rapidità della degradazione*, il possiamo riguardare come una verità palesataci dalla esperienza, essendosi verificate le deduzioni che da questa legge si ricavano. Non sarebbe però inopportuno il verificarla con esperienze più dirette.

S'intende poi sempre di parlar di temperature misurate da un termometro ad aria.

474. Segue di qui la spiegazione fisica del fatto conosciutissimo, che i corpi si lasciano tanto più difficilmente attraversare dal calorico quanto maggiore è la grossezza dello strato materiale che questo dee oltrepassare.

È notissimo a chiunque come nell'inverno col raddoppiare di vesti noi ci difendiam meglio dal freddo, ossia, per parlare col linguaggio della scienza, rendiamo più lenta la dispersione del calore animale. È noto che nei luoghi profondi le variazioni di temperatura dalla state al verno sono insensibili; ne' nostri climi, p. e., alla profondità di otto o dieci metri sotto il suolo si ha continuamente e di state e d'inverno una temperatura di +10° R. E a questo proposito hanno osservato diversi Naturalisti che le lave de' Vulcani le quali già da più mesi si veggono alla superficie consolidate e fredde, alla profondità di pochi piedi sono ancora calde roventi, e se qualche screpolatura permette di introdurre un bastone, lo si estrae bruciato (*). Coloro poi che attribuiscono ad un calore originario e proprio della terra la temperatura crescente che s'incontra scendendo a grandi profondità (§ 419), spiegano la lunga conservazione di questo calore per mezzo della difficoltà che al suo disperdimento viene oppo-

(*) Daubuisson, *Géognosie*, t. I, p. 180.

sta dalla grossezza degli strati terrestri ch'egli dee attraversare (*).

Riesce naturalissimo questo fatto anche all'uom volgare. Al veder che il calore viene alcun poco trattenuto da un solo strato di qualche materia, egli trova ben naturale che da due strati esso verrà trattenuto di più, più ancora da tre, da quattro, ec., ammettendo che ciascuno degli strati che si vanno sovrapponendo aggiunga una nuova difficoltà al disperdimento di questo principio imponderabile. Ma il Fisico cui importa di conoscere con precisione le leggi del fenomeno, affine di poterlo all'uopo assoggettare a ragionamenti rigorosi e a calcoli, riguarda più volentieri la cosa da un aspetto diverso. Egli trova la spiegazione del fatto nell'osservare, che allorquando il calorico attraversa un mezzo di molta grossezza, le molecole che si trovano disposte nelle linee del suo cammino hanno un'assai lenta degradazione di temperatura l'una dall'altra, e quindi si comunicano delle quantità di calorico piccolissime, per cui è lentissimo il passaggio di cotal principio imponderabile, e lentissimo il raffreddamento delle masse che sono al di là, specialmente se considerabili.

Supponiamo per un esempio che si abbia una massa di ghiaccio chiusa fra pareti grosse due metri, e che la esteriore temperatura sia di $+10°$ C. Avranno le due superficie interna ed esterna di queste pareti prossimamente la temperatura medesima che vi ha negli spazii contigui; cioè la esteriore sarà prossimamente a $+10°$C., e l'interna a $+0°$. Ne' punti intermedii poi andrà questa temperatura delle pareti degradando dall'esterno all'interno in tal modo, che penetrando per due decimetri si troverà $+9°$C., penetrando per quat-

(*) Veggasi la Memoria del sig. Fourier *sulle temperature del globo terrestre e degli spazii planetarii* negli *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXVII, p. 136 e seg.

tro si troverà $+8°$, penetrando sei, otto, dieci . . ., diciotto, si avrà rispettivamente $+7°$, $+6°$, $+5°$, . . . $+1°$; onde vi avrà una diminuzione di $^1/_2$ grado per decimetro, e il calorico entrerà dalla muraglia a struggere il ghiaccio con una prontezza corrispondente a questa degradazione.

Poniamo ora che il muro sia grosso appena un metro; avremo qui pure le due superficie della muraglia l'una prossimamente a $+10°$ C., e l'altra a $0°$, ma la degradazione sarà di $1°$ per decimetro, cioè doppiamente più rapida che precedentemente. Avremo dunque il passaggio del calorico doppiamente pronto, e la liquefazione del ghiaccio avverrà nella metà tempo.

È però da avvertire che se il muro è molto sottile, il passaggio del calorico è men pronto di quanto importerebbe la ragione reciproca delle grossezze; e ciò perchè allora la faccia esterna è sensibilmente al di *sotto* della temperatura dell'ambiente, partecipando alcun poco del freddo interno. Se per esempio esso muro fosse di due soli decimetri, non si avrebbe un passaggio dieci volte maggiore che essendo grosso due metri; perocchè la faccia esterna sarebbe forse soltanto a $+8°$ C., o a $+6°$, e la degradazione delle temperature non sarebbe di 5 gradi per ogni decimetro, ma soltanto di 4 o di 3; onde risulterebbe un passaggio di calorico non già decuplo di quello del muro di due metri, ma soltanto ottuplo o sestuplo.

475. *Conducibilità de' corpi solidi.* Ma oltre alla grossezza, ha grandissima influenza sul passaggio del calorico la natura de' corpi. Ad uguali dimensioni alcuni corpi si lasciano attraversare dal calorico assai facilmente, ed altri in vece vi oppongono una grande difficoltà. Chiamasi *facoltà conduttrice*, o anche *Conducibilità* questa loro diversa attitudine a lasciarsi attraversare dal calorico, e s'appellano *buoni conduttori* quei corpi che meglio si prestano a questo passaggio, *cattivi conduttori* quelli che vi si mostrano più difficili.

Riguardo a questa facoltà si osservano nei corpi grandissime differenze. In generale i migliori conduttori sono i metalli, benchè nol sieno tutti in egual grado come il vedremo fra non molto. Dopo i metalli e a grande distanza da essi vengono le diverse pietre, la porcellana, il vetro, i mattoni e in genere le terre cotte: quindi i legni, specialmente se secchi: in fine i peggiori sono le ceneri, il carbone specialmente se in polvere, il sughero, le stoffe di lino, la seta, la lana, il cotone, le piume, la carta, ec., in generale i corpi molto porosi e finamente divisi.

Appajono queste differenze da un grandissimo numero di prove. Scotta un ferro tenuto con una estremità nel foco, e però noi mettiamo manichi di legno a quegli utensili metallici che debbono venire fortemente riscaldati. Un tubettino di vetro in vece si tiene impunemente fra le mani o anche con una estremità in bocca per soffiarvi una bolla termometrica, mentre dall'altra estremità è fuso. Ponendo su di un pezzo metallico una sottile stoffa, e su di essa un carbone acceso, non può questo abbruciarla nemmeno col soffiarvi sopra.

476. Per determinare i diversi gradi di conducibilità dei corpi, cosa di grande importanza per diversi bisogni, sonovi varii metodi, quali più quali meno precisi.

Il metodo più semplice è quello del senso del tatto. Se noi tocchiamo contemporaneamente due corpi, quello di essi che è miglior conduttore ci sembra più freddo, siccome quello che più prontamente trasporta lontano il calorico comunicatogli dalla mano. Però onde giudicar rettamente della conducibilità con questo mezzo è d'uopo: 1.° che i corpi da confrontarsi sieno ad uguale temperatura cioè a quella dell'aria ambiente; 2.° che sieno sufficientemente estesi affinchè nelle parti lontane dal contatto si mantengano alla stessa temperatura dell'ambiente; mancando siffatta

estensione, il calorico vien trasportato lontano con minore facilità, e alla mano i corpi pajono men freddi; 3.° che prima di giudicare della conducibilità di due corpi si continui per qualche tempo a tenerli in contatto colla mano o colle dita, cioè fino a tanto che la comunicazione del calorico siasi resa equabile: un corpo in fatti che a pari volume d'un altro avesse maggiore capacità pel calorico potrebbe in sulle prime apparir più freddo, benchè fosse ugualmente conduttore; 4.° che i corpi che si vogliono paragonare vengano toccati contemporaneamente; giacchè senza questo si incorrerebbe facilmente in molti abbagli.

Ad onta però di questi e d'altri riguardi che si abbiano, non può questo metodo mostrarci che il più ed il meno di conducibilità, ma non già i rapporti numerici; oltre a ciò ha il difetto di non poter provare i corpi l'uno dopo l'altro. È però utile per la molta prontezza, e talvolta l'usano i Mineralogi nello esaminare le varie specie di pietre.

477. Un altro metodo assai comodo, specialmente per le stoffe e per le lamine, è quello dell'uso d'uno strumento immaginato recentemente dal sig. Fourier, e da lui appellato *termometro di contatto* (*). Consiste questo in un vaso di lamina di ferro formato a tronco di cono, allargato inferiormente e coperto sul fondo da una sottil pelle che vi sta tesa, più stretto dalla parte superiore e quivi terminato da un tubo similmente di ferro; il qual vaso è ripieno di mercurio ed ha in mezzo un termometro che col bulbo discende fin verso la metà della parte conica. Per usarlo si riducono i corpi da cimentarsi alla forma di lamine sottili, e quindi si pongono sopra un piano di marmo, poscia vi si sovrappone lo strumento riscaldato precedentemente sino ad una temperatura determinata, e in fine si osserva il tempo che esso impiega a

(*) *Annales de Chimie et de Phys.* t. XXXVII, p. 293.

raffreddarsi di un certo numero di gradi: quanto maggiore è questo tempo, tanto minore è la conducibilità.

Un risultamento ottenuto dal sig. Fourier con questo strumento si è che avendosi parecchie lamine di una stessa natura, e parecchie altre d'un'altra natura, tutte queste unite insieme vengono più difficilmente attraversate dal calorico allorquando si trovano sovrapposte l'una all'altra alternatamente, che quando sopra a tutte quelle di una stessa qualità si trovano collocate quelle dell'altra qualità.

È però da notarsi che anche questo strumento non può dare che il più e il meno, ma non già le conducibilità espresse in numeri.

478. Alla determinazione de' rapporti numerici delle conducibilità si accinse per diverse sostanze il signor Despretz.

Avevano di già i Fisici convenuto di rappresentare le conducibilità dei corpi per mezzo de' numeri indicanti le quantità di calorico che passano in un dato tempo da simili lamine formate colle diverse sostanze che voglionsi mettere a prova, posta uguale la differenza di temperatura fra le due opposte faccie, cioè posta per tutte uguale la degradazione della temperatura. Ora per determinare siffatti numeri, essendo incomodo il porre a cimento direttamente delle lamine e cercare le quantità di calorico che le possono attraversare, s'appigliò il sig. Despretz al seguente metodo, indiretto sì ma più comodo. Formava egli colle varie sostanze altrettante simili verghe prismatiche, ne copriva la superficie con una medesima vernice nera, e situandole orizzontalmente ne esponeva un'estremità ad una sorgente costante di calore, ed osservava gli effetti di questo in una serie di termometri collocati in alcuni fori scavativi a varie distanze e ripieni d'olio o di mercurio; e dall'essere più o meno rapida la diminuzione delle temperature allo scostarsi successivamente dalla sorgente calorifica allorquando i

diversi termometri si erano ridotti stazionarii, deduceva il grado della conducibilità, riducendo questa a numeri per mezzo di una formola trovata dal signor Fourier. I risultamenti da lui ottenuti si trovano registrati nella tabella seguente (1).

Oro	1000
Platino	981
Argento	973
Rame	898,2
Ferro	374,3
Zinco	363
Stagno	303,9
Piombo	179,6
Marmo	23,6
Porcellana	12,2
Terra da mattoni e da fornelli	11,4

479. L'ordine precedente che è quello della *copia* del calorico che può attraversare i corpi, può essere assai diverso dall'ordine secondo il quale questi sono più meno *pronti* a riscaldarsi ad una estremità, supposto che dall'altra sieno collocati in una sorgente costante di calore. Lo stagno, p. e., può essere assai più pronto del ferro, benchè sia meno conduttore di questo. E ciò perchè la prontezza al riscaldamento non solo dipende dalla conducibilità, ma altresì dalla capacità pel calorico. Il ferro avendo a parità di volume una capacità molto maggiore che lo stagno, abbisogna d'assai più calorico e quindi d'assai più tempo che non quest'ultimo metallo, per riscaldarsi sino ad una temperatura determinata. In simil modo il platino che è miglior conduttore dell'argento, può essergli inferiore nella prontezza al riscaldamento (2).

(1) *Annales de Chimie et de Phys.* t. XXXVI, p. 422.
(2) *Bibl. Brit. Sc. et Arts*, t. LV, p. 265.

480. In quanto ai legni trova il sig. Despretz ch' essi sono incomparabilmente meno conduttori dei metalli. Riscaldando l' estremità di una barra di legno della grossezza di 21 millimetri fino a carbonizzarla, il calore a pochi centimetri di distanza era affatto insensibile (1).

Per sapere poi come varii questa conducibilità da legno a legno hanno fatto recentemente alcune sperienze i signori De la Rive e Decandolle, usando di un metodo simile a quello adoperato dal sig. Despretz (2). Avendo operato su legni ben secchi, hanno essi trovato 1.° che questi mostrano maggiore facoltà conduttrice secondo la direzione delle fibre che secondo la direzione trasversale; 2.° che tanto per la conducibilità longitudinale quanto per la trasversale il noce supera la quercia, e questa l'abete, mostrando però maggiore differenza l' uno dall' altro nella direzione trasversale che nella longitudinale; 3.° che la conducibilità del sughero è inferiore a quella dello stesso abete cimentato trasversalmente.

Altre sperienze sui legni aveva fatte precedentemente il celebre Mayer, e se ne possono vedere i risultamenti presso varii autori (3).

481. Il Rumford per determinare i rapporti delle conducibilità di diverse sostanze esaminò i tempi che un termometro circondato da esse impiegava nel raffreddarsi di un dato numero di gradi, e li trovò per le seguenti sostanze espressi dai sottoposti numeri:

Aria	576″
Tela	783
Cotone filato.	852
Cenere ben secca.	927

(1) *Annales de Chimie et de Phys.* t. XXXVI, p. 426.
(2) *Biblioth. Universelle, Sciences et Arts*, t. XXXIX, p. 206.
(3) Gerbi, *Fisica*, t. III, p. 80, ediz. 1823; *Enciclopédie Méthodique, Physique*, t. II, art. *Conducibilité.*

Lana filata	934″
Polvere di carbone	940
Filaticcio sottilissimo	1032
Borra di cotone	1046
Lana ordinaria	1118
Nero di fumo	1121
Seta cruda	1184
Pelo di castoro	1296
Piumino	1305
Pelo di lepre	1315
Polvere di Licopodio	1478

In questa tabella s'intende per conducibilità dell'aria l'attitudine che avevano a sottrarre calorico al termometro lasciato nudo, le congiunte azioni della irradiazione e del contatto dell'aria che gli passava vicino.

482. Sembra che la facoltà conduttrice dei corpi non si mantenga la stessa a tutte le temperature; ma pare da alcune prove che quando sono vicini al loro punto di fusione sieno molto men conduttori, che allorquando si trovano notabilmente al di sotto di questo punto (*). Ed è cosa ben naturale che debbano aversi di tali diversità, al vedere le varie alterazioni che i corpi soffrono nel loro tessuto al cangiare della temperatura.

483. Della grande facoltà conduttrice dei metalli noi abbiamo una importante applicazione nella lanterna di sicurezza di Davy. La parte più essenziale di questa è una rete metallica, la quale cinge tutto all' intorno la fiamma, lasciandone uscire liberamente la luce, ma impedendo ch'ella stessa esca ad accendere l'aria infiammabile che può esservi nel luogo. E un tale utile effetto della rete nasce da questo, che se la fiamma dell' olio viene in qualche punto a di lei contatto, i fili metallici ne lasciano passare la sostanza

(*) Biot, *Traité de Phys.* t. IV, p. 684.

aeriforme combustibile, ma le rapiscono il calore, e coll'ajuto della loro facoltà conduttrice lo trasportano e lo diffondono in parti lontane dalla fiamma medesima, e così diffuso e diminuito d'intensità parte lo irradiano verso i corpi circostanti, e parte lo comunicano all'aria contigua, la quale però non ne può concepire che un'assai lieve elevazione di temperatura. Il gas combustibile intanto che internamente stava acceso e formava la fiamma, esce fuori privo della temperatura necessaria alla sua combinazione coll'ossigeno dell'aria esterna.

Nel cappello però dove l'azione della fiamma è più forte, e tale da riscaldar tanto la rete da far uscire caldissimo il gas combustibile, si raddoppia cotal rete per maggior sicurezza.

Fannosi con queste reti metalliche molte sperienze per analizzare la forma delle fiamme e per osservare le diverse attitudini di queste ad attraversare i tessuti metallici. Sogliono esse reti impedire tanto meglio il passaggio alla fiamma, quanto più sono fitte e formate di fili grossi e con buchi sottili, quanto più conduttore è il metallo, quanti più doppii se ne adoperano, e quanto men veloce è il passaggio del fluido aeriforme combustibile.

Queste medesime reti sono state recentemente applicate dal Cavaliere Aldini a difendere in caso d'incendio quelle persone che debbono esporsi all'azione delle fiamme.

484. Le sostanze poco conduttrici vengono dall'uomo adoperate per farne vesti onde difendere il proprio corpo dai rigori del freddo; e la natura ha pel medesimo oggetto rivestiti gli animali con sostanze di questa specie. In grazia della poca conducibilità, la paglia di che si rivestono alcuni alberi d'inverno li difende dai sinistri effetti del gelo, e la neve preserva da un simil danno le sementi dei campi. Per la stessa cagione le camere di legno sono più calde di quelle

costruite con pietre e calce, e su di un pavimento di tavole noi stiamo più caldi che su d'uno di pietra.

485. *Della trasmissione del Calorico da un corpo solido ad un altro.* Quando due corpi solidi combaciano per una parte notabile della loro superficie, essi possono considerarsi come un corpo unico, nel quale alla superficie di unione, si cangi per avventura la facoltà conduttrice. Si potrebbe dubitare che quando i due corpi sono eterogenei, alla superficie di separazione vi abbia un ostacolo alla propagazione del calorico repente anche nel cangiamento di natura della materia ch'esso dee attraversare, come avviene per la luce quando passa dall'acqua al vetro o viceversa; talchè p. e. una grossa lamina di stagno, in mezzo a cui se ne trovi saldata una sottilissima di rame, sia meno atta a trasmettere il calorico che un'altra lamina simile di solo stagno. Ma non pare che questo sospetto venga dalle sperienze confermato: altrimenti in que' corpi che sono formati da piccole parti eterogenee meccanicamente applicate l'una all'altra ed unite per adesione, quali sono le arenarie, i graniti, i cementi fatti di sabbia e calce, ec. si dovrebbe avere una conducibilità estremamente piccola. E pare che il risultamento ottenuto da Fourier riguardo alle lamine eterogenee alternate (§ 477) dipenda da qualche altra cagione. Sarebbe nulladimeno utile il fare qualche sperienza diretta specialmente riguardo ai corpi trasparenti, ove potrebbesi presentare qualche cosa d'impreveduto.

Quando i due corpi si toccano appena per qualche punto, la comunicazione del calorico è assai lenta, e si effettua parte pel passaggio dai punti di contatto allo stato di calorico repente, parte pel movimento dell'aria frapposta, la quale prende calorico dal corpo più caldo e va a deporlo sul più freddo, parte in fine per irradiazione dall'un corpo all'altro. Varia la quantità di calorico trasmessa secondo che i punti di contatto sono più o meno numerosi, e secondo che i due corpi vengono più o meno fortemente premuti insieme. Un ferro rovente che venga posato leggiero su di un ferro freddo il riscalda assai lentamente, e s'accelera il riscaldamento col premere fortemente i due ferri (*); e ciò

(*) Gerbi, *Fisica*, t. III, p. 85.

parte per la moltiplicazione de' punti di contatto, parte per l'assottigliamento della lamina aerea interposta.

486. *Osservazione.* Quando una corrente di calorico continua ed uniforme dovesse attraversare una serie di lamine piane di diversa conducibilità, movendosi perpendicolarmente ad esse, degradazione della temperatura in ciascuna lamina, sarebbe tanto men rapida quanto più la lamina fosse conduttrice, nella precisa ragione reciproca della conducibilità. Perocchè una lamina che avesse, p. e., doppia facoltà conduttrice di un'altra, con una degradazione di temperatura della metà rapidità potrebbe trasmettere la medesima quantità di calorico di quest'altra. Di qui si avrebbe un altro metodo per paragonare le facoltà conduttrici; e questo sarebbe di far combaciare insieme delle lamine di diversa natura e non molto sottili, e di farle attraversare da una corrente uniforme di calorico, impedendo che questo calorico potesse disperdersi dagli orli col porre quivi de' corpi di pessima conducibilità, e frapponendo ad esse de' termometri a bolla molto schiacciata per misurare le differenze di temperatura fra le due opposte superficie di ciascuna lamina. A pari grossezza, le conducibilità sarebbero reciproche alle differenze di temperatura; e dove per avventura si avessero uguali le differenze di temperatura e disuguali le grossezze, le conducibilità sarebbero nella ragione diretta semplice di queste grossezze.

Del Calorico repente ne' fluidi.

487. I fluidi sì liquidi che aeriformi hannó una facoltà conduttrice molto debole, non però affatto nulla come supponevano alcuni autori.

Per dimostrarne l'esistenza Thompson e Dalton hanno provato che versando gentilmente sopra una massa d'acqua fredda un liquido di essa più leggiero e molto riscaldato, questo fa elevare, sebbene lentamente, la temperatura di varii termometri posti inferiormente a diverse profondità in detta acqua (*).

(*) Gerbi, *Fisica*, t. III, p. 81.

Hope ha trovato che mescendo insieme coll'agitazione acqua ed olio inegualmente caldi, e lasciandoli quindi col riposo ridurre a strati distinti, presentano questi strati una temperatura medesima, cioè quella che poco prima mostrava la mescolanza (*): il che prova che le molecole dell'un liquido possono cedere calorico a quelle dell'altro.

Riguardo ai fluidi aeriformi il Davy e il Berthollet fanno osservare com'ella venga palesata dalla notabile rapidità colla quale i termometri ad aria indicano le variazioni di temperatura, e dalla prontezza con cui i gas contenuti nei palloni aerostatici si dilatano per l'azione del calor solare. Perciocchè non è possibile che tutte le molecole aeriformi possano passare in sì breve tempo accanto alle pareti sia della bolla sia del pallone a rapire la loro parte di calorico; ma è d'uopo ammettere che quelle che l'hanno ricevuto direttamente dalle pareti, ne comunichino per conducibilità alle altre fra cui si vanno poi diffondendo.

488. Quanto poi ella sia debole, il possiamo ricavare da molte prove. Pei liquidi ce ne può convincere la lentezza colla quale, nella sperienza or ora citata di Thompson e di Dalton, discende il calore nella massa d'acqua su cui si è versato altro liquido riscaldato. Un'altra prova può aversi nella sperienza seguente: si fermi un pezzo di ghiaccio in fondo a un sottile cilindro di vetro inferiormente chiuso e che nella parte superiore contenga dell'acqua, e quindi si inclini questa parte superiore sopra la fiamma di una candela: si vedrà in breve spazio di tempo l'acqua a bollire, e il ghiaccio sarà ancor solido benchè collocato soltanto pochi pollici al di sotto. Si può anche versare uno strato di alcool sopra una massa d'acqua, e quindi accenderlo tenendovi poco sotto il bulbo di

(*) Gerbi, *Fisica*, t. III, p. 81.

un termometro: si osserva che questo si scalda lentissimamente (*).

489. Pei fluidi aeriformi il possiamo vedere dalla lentezza con cui i solidi si raffreddano stando sospesi in mezzo all'aria o in un altro gas, specialmente se vengano tenuti nella parte superiore di un vaso chiuso affine d'impedire il rinnovamento del fluido contiguo; e la lentezza sarebbe ancor maggiore se non venisse perduto molto calorico anche per irradiazione.

Di questa poca conducibilità de' fluidi aeriformi noi caviamo un vantaggio, allorquando per meglio impedire d'inverno il raffreddamento delle camere raddoppiamo i vetri delle finestre, lasciandoli separati da un intervallo d'aria.

CAPO IV.

DEL CALORICO PROPAGATO PER MOTO IDROSTATICO E PEI ALTRI MOVIMENTI DE' FLUIDI

490. La debole facoltà conduttrice de' fluidi suole venire abbondantemente compensata, come fu specialmente dimostrato da Rumford, da ciò che appellasi *moto idrostatico*. In che consista questo moto, e come esso ajuti in singolar modo la propagazione del calorico ne' fluidi, il mostreranno chiaro alcuni esempii. Se noi appressiamo al fuoco un vaso metallico pieno d'acqua, il quale riceva calore da un lato, riscalderassi quivi l'acqua pel contatto colla parete, si dilaterà e si farà specificamente più leggiera, e per questa cagione verrà portata in alto, lasciando luogo ad altra più fredda, la quale accorsa dal fondo si scalderà essa pure e rinnoverà il medesimo giuoco: ella è infatti una notissima legge di idrostatica, che

(*) Pouillet, *Élémens de Physique*, t. I, p. 367.

trovandosi in un vaso medesimo più liquidi di diversa gravità specifica, i più leggieri debbono portarsi al di sopra, e i più pesanti al di sotto. Sul fondo intanto andrà il liquido accostandosi alla parete calda, e alla superficie se ne andrà allontanando per discendere in massa nella parte centrale e accanto alle pareti opposte, e così avrà luogo una circolazione continua. Le numerose molecole poi in cotal modo riscaldate comunicheranno calore anche alle fredde a cui verranno in contatto, e così il calorico comunicato al vaso da una parte sola si diffonderà per tutta la massa acquea pressochè uniformemente.

Se il riscaldamento avrà in vece luogo verso la parte centrale del fondo e il vaso sarà largo, l'innalzamento del liquido avverrà nel mezzo e la discesa alle parti laterali.

Questo moto favorisce anche il raffreddamento. Poichè se noi terremo accanto alla parete del vaso or ora considerato un pezzo di ghiaccio, succederà nell'acqua una circolazione in direzion contraria della precedente, per mezzo della quale le molecole liquide passeranno le une dopo le altre accanto alla parete fredda cedendole una parte del proprio calorico e intanto scendendo verso il fondo; giunte al fondo andranno da essa scostandosi, si stenderanno sul fondo medesimo e faranno risalire il rimanente liquido; questo intanto alla superior superficie andrà avvicinandosi alla parete fredda, per ivi raffreddarsi e mantenere il giro.

Questi diversi movimenti si possono nell'acqua rendere visibili col porre in essa della segatura di legno di quercia, o qualsivoglia altra sostanza polverosa la quale non ne differisca gran fatto nella gravità specifica, e che perciò venga trasportata da essa acqua in cotali suoi movimenti.

491. Un tale moto idrostatico, nel caso del raffred-

damento, può anche rendersi sensibile colla sperienza seguente. Si prendano due simili recipienti di vetro, e due uguali pezzi di ghiaccio; nell'uno il pezzo di ghiaccio si fermi sul fondo, versandovi quindi dell'acqua calda sino a riempirlo; nell'altro, riempiuto di altrettanta acqua alla medesima temperatura, il pezzo di ghiaccio si lasci galleggiante. Si vedrà che quest'ultimo pezzo si liquefarà assai più presto dell'altro. Questo avviene perchè nel secondo vaso l'acqua fredda ottenuta dalla liquefazione, e quella raffreddata pel contatto col ghiaccio scende come più pesante sul fondo e il ghiaccio rimane sempre in mezzo ad acqua calda; nell'altro recipiente in vece l'acqua fredda si conserva sul fondo d'intorno al ghiaccio, separandolo dal contatto coll'acqua calda, e rendendone lenta la liquefazione.

492. Pel caso del riscaldamento si può fare quest'altra sperienza. Si prendono (vedi fig. 7) due recipienti metallici comunicanti fra loro per mezzo di due tubi orizzontali, l'uno de' quali gli unisca per le parti superiori e l'altro per le inferiori, si riempiono d'acqua fredda, e se ne riscalda uno per mezzo di una lucerna a spirito di vino collocatavi di sotto. Ne avviene che il liquido che si scalda entro quest'ultimo passa per mezzo del tubo superiore all'altro recipiente, mentre da questo ritorna indietro dell'acqua fredda che passa dal tubo inferiore: e così si stabilisce una continua circolazione che fa elevare gradatamente anche la temperatura di quel recipiente che non riceve direttamente l'azione del calore. In questo fenomeno la dilatazione dell'acqua che si riscalda direttamente colla lucerna fa alzare alcun poco il livello entro il suo vaso, e fa che la pressione colla quale quest'acqua spinge verso il vaso freddo la massa liquida contenuta nel tubo superiore prevalga alla forza contraria colla quale a vicenda l'acqua del vaso freddo spinge quella del tubo medesimo in direzione opposta: con che nel tubo su-

periore si determina un movimento dal vaso caldo al freddo. Intanto per lo scemarsi della massa acquea nel vaso caldo e lo accrescersi di essa nel freddo, avviene nel tubo inferiore un effetto tutto contrario: quivi la pressione dell'acqua fredda diviene preponderante a quella della calda, e però la prima s'inoltra nel tubo e passa nel vaso caldo.

Una siffatta disposizione di recipienti si è immaginato di farla servire al riscaldamento delle camere e di altri luoghi. Si scalda dell'acqua entro una caldaja posta su d'un fornello, e questa comunicando per mezzo di tubi orizzontali o rettilinei o anche curvilinei se il comodo lo esige, fa alzare la temperatura di un'altra massa d'acqua collocata in qualsivoglia camera che si trovi ad uno stesso piano col fornello. Collo stesso principio si può scaldare l'acqua di una vasca da bagni; si fa comunicare questa vasca per mezzo di due tubi orizzontali con un vaso collocato all'esterno e che venga scaldato direttamente. E non è necessario che i tubi sieno perfettamente orizzontali; potrebbero anche ascendere alcun poco nel passare dal vaso direttamente scaldato a quello che si scalda per comunicazione.

493. Questo moto idrostatico si effettua anche nei fluidi aeriformi; ed è appunto esso che col soccorso di un poco di conducibilità rende sì pronte le indicazioni dei termometri ad aria. Noi il veggiamo anche nelle camere ove ci abbia qualche stufa: presso le canne e le pareti riscaldate vi hanno delle correnti ascendenti capaci anche di trasportare de' corpicciuoli leggieri; ed esplorando i movimenti dell'aria nelle varie parti della camera per mezzo della fiamma di una candela, si osserva che vicino al suolo essa aria va accostandosi alla sorgente del calore, e verso la soffitta se ne va discostando; che se esse camere, dopo qualche tempo dacchè il fuoco ha cominciato a riscaldarle, vengano aperte in un luogo ove s'esca all'aria libera, vedran-

nosi all'uscio due correnti contrarie, l'una d'aria fredda che entrerà per disotto, l'altra d'aria calda che uscirà per disopra.

494. Abbiamo una continua ed utile applicazione di questo moto nel salire che fa su pei cammini l'aria che ha servito alla combustione delle legne. Quest'aria, quando le legne sieno mediocremente secche, cioè tali che contengano $^{25}/_{100}$ di acqua e $^{75}/_{100}$ di legno secco, e la lor combustione sia completa e senza fumo, è di tale natura che a pari temperatura e pressione avrebbe presso a poco la stessa densità dell'aria comune, compensandosi fra loro la maggior leggerezza del vapore acqueo formatosi nella combustione e la maggior densità del gas acido carbonico; ma in grazia del calore ella è specificamente più leggiera dell'altra aria, e perciò sale pei cammini, liberando le camere dalla sua nociva presenza, ed attraendo aria nuova a mantenere la combustione.

495. Sonovi in diversi luoghi montuosi delle caverne ove naturalmente si conserva ghiaccio anche di state, benchè esse sieno molto al di sotto dell'inferior limite delle nevi perpetue. Se ne trovano descritte diverse negli *Annales de Chimie et de Physique* (*) esistenti in Francia e in Isvizzera, e vicino a noi abbiamo quella del Monte Codeno sulla sinistra riva del Lago di Como. Sono in generale queste caverne aperte verso l'alto, e inferiormente allargate e chiuse: nell'inverno l'aria fredda esteriore, siccome più densa di quella della caverna, discende entro questa scacciando fuori quella che prima occupava il luogo e fa raffreddare le pareti d'intorno e il suolo, e continuando a mutarsi molte volte, ella arriva, specialmente se l'inverno è rigido, a far gelare l'acqua che vi si contiene. Succedendo la primavera e la state, non può l'aria calda esteriore, per essere più leggiera, entrare e sloggiare la fredda,

(*) Anno 1822, t. XXI, p. 113.

e però il calorico non vi può penetrare per moto idrostatico come aveva potuto uscirne, ma soltanto per *irradiazione* coll'ajuto di parecchie successive riflessioni, e per *comunicazione da molecola a molecola*, in modo lentissimo; onde la temperatura o non arriva mai sopra lo zero o lo supera di pochissimo, e così il ghiaccio che vi si trova o non si fonde affatto o solamente in piccolissima quantità.

496. Molto grande è la prontezza con cui il calore si diffonde ne' fluidi per mezzo di questi movimenti. Quando una massa liquida non sia molto grande e venga riscaldata lentamente e il riscaldamento avvenga principalmente per di sotto, si trova che la temperatura s'aumenta uniformemente in tutte le sue parti, talchè un termometro segnerebbe dappertutto, ad uno stesso istante, un grado medesimo. E così pure la temperatura si abbassa uniformemente quando una massa liquida non grande si raffredda a poco a poco e perde calorico più abbondantemente dalla parte superiore che dall'inferiore. Il quale ultimo fatto si può osservare con tutta facilità lasciando raffreddare all'aria libera un vaso metallico ripieno d'acqua calda, il quale sia scoperto ed abbia un diametro ed un'altezza di uno o di due decimetri, e stia sopra sostegni poco conduttori: anche nel caso che la temperatura dell'acqua superi quella dell'aria di 30° ovvero di 40° R., portato un termometro dal mezzo del vaso alle pareti non si abbassa più di 1/4 o di 1/5 di grado, e non più di mezzo grado venendo portato sul fondo.

Quando il raffreddamento o il riscaldamento non avvenga al modo indicato, ma il vaso o si riscaldi maggiormente per di sopra, o si raffreddi di più per di sotto, essendo però ancora di piccole dimensioni e di lente variazioni di temperatura, in tal caso non indicherà più il termometro uno stesso grado a tutte le altezze del liquido; però sì in tutti i punti che sono ad uno stesso livello. Calando per esempio due ter-

mometri in una vasca d'acqua che in qualche modo sia stata scaldata per di sopra, ad uguali profondità si troveranno uguali gradi, ma la temperatura sarà diversa a profondità differenti.

Se poi il vaso è molto grande, specialmente nella dimensione della larghezza, e le mutazioni di temperatura sono veloci, questa uniformità ne' punti egualmente profondi non è più sì perfetta, e tanto meno quanto più grande è l'estensione. L'Oceano, benchè lentissimi e leggieri sieno i suoi cangiamenti di temperatura, pure per la grande distanza de' luoghi si trova gelato presso ai poli, mentre alla zona torrida ha una temperatura di 29° o di 30° C. (23°, o 24° R.) (*).

497. Se oltre al moto idrostatico, il fluido è agitato per altre cagioni, egli è chiaro che allora la diffusione del calorico è ancor più pronta, e tanto più quanto più è veloce il rimescolamento.

Della comunicazione del Calorico fra i solidi e i liquidi.

498. Quando si ha un corpo solido caldo in mezzo ad un liquido di lui più freddo, quest'ultimo ajutato da qualche suo movimento, del quale non è mai affatto privo, sottrae calorico al primo, e a poco a poco, se il solido non riceve di altronde nuovo calorico, il riduce ad essere seco ad equilibrio di temperatura.

La prontezza con cui il liquido va sottraendo questo calorico dipende da parecchie circostanze, di ciascuna delle quali non si conosce ancora l'influenza separata che in un modo assai superficiale. E sono 1.° la differenza di temperatura fra il solido immerso e il liquido; 2.° la velocità con cui il liquido si muove; 3.° la natura del liquido. Egli è chiaro in fatti

(*) *Annales de Chimie et de Physique* t. XXVII, p. 431.

che: ad altre circostanze pari quanto più il liquido sarà freddo tanto più prontamente toglierà calorico al solido; come pure gliel toglierà con tanta maggior prontezza quanto più gli passerà veloce accanto. Ma poste anche uguali la velocità e la temperatura, potranno diversi liquidi, attesa la loro particolare natura, essere diversamente pronti in questo effetto: l'uno di essi potrà essere più conduttore del calorico, ovvero a parità di volume avere pel calorico maggiore capacità; e tanto l'una che l'altra causa è atta a far sì che esso liquido mostri un più pronto effetto.

Oltre a ciò hanno parte nel fenomeno anche diverse circostanze proprie del corpo solido, vale a dire la grandezza, la disposizione e la forma della sua superficie, la sua capacità pel calorico, e la sua facoltà conduttrice, come è ben facile l'avvertire.

Riguardo alla velocità del liquido ha fatto alcune sperienze il Leslie. Egli asserisce che una grossa bolla da termometro posta in una corrente d'acqua che percorra un terzo di miglio inglese all'ora (cioè 15 centimetri al secondo) si raffredda con doppia celerità che se si trova immersa nell'acqua tranquilla; e che in una corrente di due miglia all'ora (di 9 decimetri al secondo) si raffredda sette volte più prontamente che nell'acqua tranquilla medesima (*).

Riguardo alla differenza delle temperature noi conosciamo solamente il *verso* secondo cui ella influisce, ma nulla sappiamo di positivo rispetto al *quanto*.

E così manchiamo di cognizioni precise anche riguardo a ciò che è dovuto alla sola natura dei liquidi, cioè riguardo alla loro diversa attitudine a sottrarre calorico a un solido nel supposto che si trovino a pari temperatura e dotati di pari velocità; e sarebbe a desiderarsi che alcuno istituisse su ciò delle diligenti ricerche.

(*) *Biblioth. Britannique, Sciences et Arts*, t. LV, p. 285.

499. Un caso particolare che ha già occupati i Fisici, e che è a vero dire di molta importanza, si è quello d'un solido che s'immerga in un liquido prima tranquillo, e il quale poscia non prenda a muoversi che del moto idrostatico prodotto dal calore del solido immerso. Si è trovato che cimentati in cotal modo il mercurio, l'acqua e l'olio d'uliva, il più pronto a sottrarre calorico si è il mercurio, a questo segue l'acqua, a questa l'olio. Con che si dà ragione della diversa durezza della tempera che acquista l'acciajo immerso rovente nell'uno o nell'altro de' suddetti liquidi (*). L'alcool è presso a poco d'eguale prontezza coll'olio. E queste differenze si possono riconoscere assai facilmente immergendo nei diversi liquidi ridotti ad uguale temperatura le bolle di più uguali termometri a mercurio riscaldate tutte ad un medesimo grado, e paragonando i tempi impiegati da questi stromenti nel discendere di un determinato numero di gradi. Basterebbe anche tuffare contemporaneamente le dita in questi diversi liquidi ridotti esattamente alla stessa temperatura, e paragonare le sensazioni di freddo che ne proviamo.

È però questo un fenomeno molto complicato dove oltre alle qualità intrinseche del liquido, la conducibilità cioè e la capacità pel calorico, ha una parte altresì la diversa velocità con cui si eseguiscono ne' varii liquidi i movimenti idrostatici.

Egli è poi da credere che, posti i medesimi corpi e posta la medesima differenza fra la temperatura del liquido e quella del solido, l'attitudine del liquido a sottrarre calorico al solido pel semplice moto idrostatico debba notabilmente variare col mutarsi delle temperature assolute dell'uno e dell'altro. Sembra a cagion d'esempio che l'olio d'uliva e l'acqua nelle temperature vicine a 0° debbano essere, a pari dif-

(*) Thénard, *Chimie*, t. I, p. 409.

ferenza di temperatura co' solidi immersi, assai men pronti in questo effetto che nelle temperature più elevate; perciocchè nell'uno è allora molto minore la scorrevolezza delle parti o liquidità, nell'altra, siccome vicina al massimo di densità, sono piccolissime le condensazioni e le dilatazioni prodotte dal riscaldamento e dal raffreddamento; per cui in entrambi debbono a tali temperature vicine a 0°, essere lentissimi i moti idrostatici.

Qualunque però sia la temperatura e la qualità d' un liquido, il raffreddamento di un corpo solido che vi venga immerso è sempre di lunga mano più pronto che nell' aria o in altro fluido aeriforme, sebbene in quest' ultimo caso, oltre al contatto del fluido, concorra ad abbassare la temperatura anche l' irradiazione. In una prova da me fatta, un termometro a mercurio colla bolla del diametro di 13 millimetri impiegava circa 2',30" nel discendere da una differenza di 32°R. sopra la temperatura dell' aria ambiente sino ad una differenza di soli 16°R., laddove nell' acqua per un simile raffreddamento impiegava appena 5": l' acqua era a +8°R., l' aria a +10°R., la pressione atmosferica intorno ai 28 pollici di mercurio.

500. Quello che abbiamo detto riguardo alla sottrazione del calorico che i liquidi freddi fanno ai solidi caldi, si può estendere anche al fenomeno inverso, cioè alla comunicazione del calorico fatta ai solidi freddi dai liquidi riscaldati. Le circostanze che valgono a rendere più pronto il passaggio del calorico dai solidi ai liquidi quando questi sono a temperatura più bassa, quali sono la maggiore celerità del movimento, la maggior differenza di temperatura, la maggiore conducibilità del liquido, e la sua maggiore capacità pel calorico a parità di volume, servono eziandio a rendere più celere la comunicazione in verso contrario quando i liquidi sono più caldi dei

solidi. E similmente quei liquidi che coll'ajuto del semplice moto idrostatico sono più atti a sottrarre calorico essendo freddi, sono anche più atti a darne quando sono caldi; perocchè quella circostanza o quella combinazione di circostanze che rende più attiva la comunicazione nel primo caso, sia ella o una maggiore facilità de' moti idrostatici o una maggiore conducibilità o altro, sussiste anche nel secondo caso e favorisce anche in questo la comunicazione del calorico. Di qui avviene che ad ugual grado di calore ci scotta più il mercurio che l'acqua, più l'acqua che l'alcool o l'olio.

501. È poi da osservarsi che l'ordine secondo cui diversi liquidi alterano più o meno prontamente, movendosi del solo moto idrostatico, la temperatura di un corpo immerso che si trovi ad un diverso grado di calore, può essere ben diverso dall'ordine delle prontezze secondo cui i liquidi medesimi cangiano essi stessi di temperatura al contatto di solidi di temperatura costante. Per vero dire l'influenza della facoltà conduttrice e della prontezza de' movimenti idrostatici è la medesima nell'una e nell'altra specie di fenomeni; quanto più queste circostanze favoriscono, la comunicazione del calorico, tanto è più pronto il cangiamento di temperatura sì nel liquido che nel solido. Ma la capacità del liquido pel calorico, valutata a parità di volume, opera nelle due specie di fenomeni secondo modi contrarii: quanto più un liquido, a parità di volume, è capace pel calorico, tanto più prontamente fa, p. e., raffreddare (poste uguali le altre circostanze) un solido caldo che vi si immerga, e tanto più lentamente si riscalda esso stesso pel contatto di un solido quando questo sia mantenuto a temperatura costante e più calda. Di qui è che un liquido il quale a pari volume con un altro abbia maggiore la capacità pel calorico, potrà essere più pronto di quest'altro nel raffreddare o nel riscaldare un solido immersovi, e insieme potrà essere più lento, posto eguale il volume e pari le altre circostanze, nel cangiare esso stesso di temperatura.

Ecco la gradazione delle prontezze con cui si riscaldano o si raffreddano uguali volumi de' liquidi citati precedentemente, cominciando dal più pronto: mercurio, spirito di vino, acqua, olio d'uliva (*). Si può provarlo riempiendo con questi liquidi parecchi recipienti termometrici a bolle uguali, riscaldando questi recipienti fino ad un certo grado, ed osservando i tempi che impiegano nel raffreddarsi entro ad una massa di mercurio.

Noi qui veggiamo che sebbene l'acqua sia più pronta dell'alcool nel togliere e nel dar calorico, pure, per la maggiore capacità ch'ella ha a pari volume (vedi §434), esige un maggior tempo per cangiare di temperatura. Per doppia ragione poi l'alcool muta temperatura più lentamente del mercurio, e perchè è più lento nel prendere e nel dare calorico, e perchè a pari volume ha maggiore capacità. E da ciò avviene che i termometri ad alcool, poste uguali le bolle, sono assai meno pronti di quelli a mercurio nell'indicare la temperatura dei liquidi. Da alcune prove fatte immergendoli nell'acqua, mi risultò che essendo questo liquido a +10° C., essendo le bolle del diametro di mezzo pollice, i tempi impiegati dalle due sorte di termometri per raffreddarsi in essa acqua dello stesso numero di gradi sono circa come uno a tre: però non si può generalizzare il risultamento, potendo variare per molte circostanze, p. e. pel grado di rettificazione dell'alcool, pel diametro delle bolle, ec.

Facendo poi paragone fra i liquidi e l'aria, si trova che questa è di gran lunga più pronta di quelli nelle mutazioni di temperatura; perocchè quantunque ella sia molto più lenta nel togliere e nel dare calorico alle pareti del recipiente ove è contenuta, ella ha da un altro canto, a parità di volume co' liquidi, una capacità pel calorico incomparabilmente minore.

502. In conseguenza della comunicazione di cui parliamo, le temperature di un liquido e di un solido che vi si trovi immerso vanno ravvicinandosi l'una all'altra indefinitamente, variando con velocità uguali

(*) Musschenbroek, *Intr. ad Phil. Nat.* § 1559.

o ineguali secondo che è voluto dalla proporzione delle loro capacità totali pel calorico.

Può nulladimeno in certi casi avvenire chè la temperatura finale del solido sia qualche poco diversa da quella del liquido. Se in fatti noi prendiamo un termometro che abbia la scala sì minutamente divisa da indicare i centesimi di grado centigrado, e lo collochiamo colla bolla entro un miscuglio di acqua e neve, tenendo esposto alla luce solare un tale miscuglio, noi osserviamo che questo termometro non indica esattamente la temperatura o°C. che è quella del miscuglio, ma bensì una temperatura alquanto più elevata.

In alcune prove che io feci con un termometro a mercurio che aveva la bolla del diametro di 16 millimetri, io ottenni una differenza di circa $^1/_4$ di grado centigrado. Movendo continuamente la bolla entro al miscuglio, il termometro indicava qualche cosa meno, cioè appena $^1/_{10}$ circa di grado centigrado sopra lo zero; meno ancora esso segnava venendo ritirato dalla luce solare, e rimanendo esposto soltanto alla luce che illuminava la camera, nel qual caso mostrava appena ora $^1/_2$ centesimo di grado centigrado, ora 1 centesimo, ora 2 centesimi. Io non otteneva però esattamente il grado o°, se non tenendo il miscuglio all' oscuro, e lasciando esposta alla luce la sola scala dello strumento. Con un termometro a spirito di vino colorato i risultamenti erano maggiori, avendo ottenuto alla luce viva del sole una differenza di $^3/_8$ di grado centigrado.

La ragione del fatto è ben chiara. La luce o diretta del sole o indiretta che illumina la camera, passa senza essere assorbita attraverso al miscuglio dell' acqua e neve, e attraverso al velo liquido che cinge davvicino la bolla; ma arrivando alla superficie di quest' ultima, viene da essa assorbita in parte, e le comunica calorico. In conseguenza di ciò, la temperatura finale a cui si riduce la bolla del termometro

eccede alcun poco quella del bagno ove sta immersa, cioè di tanto che la quantità di calorico che essa bolla va continuamente ricevendo dalla luce uguagli quella che la bolla medesima va comunicando a un tal bagno.

È bene l'aver presente un tal fatto allorchè si tratta di graduare de' termometri. E così pure allorquando si fanno delle sperienze intorno al massimo di densità dell' acqua; alla qual temperatura, essendo lentissimo il moto idrostatico, una piccola quantità di calorico comunicato dalla luce può indurre una sensibile diversità nell' indicazione dello strumento.

503. Se fra due liquidi l'uno più caldo dell'altro venga frapposta una sottile lamina metallica, quale temperatura prenderà ella? — Prenderà una tal media fra le temperature dei due liquidi ch' ella possa ricevere dal più caldo precisamente tanto calorico quanto ella potrà comunicarne al più freddo. Supponiamo, p. e., che il liquido più caldo sia mercurio a +50° C., e il più freddo sia acqua a +20°, e che un corpo solido colla superficie a +40° possa ricevere dal mercurio caldo a +50° quella medesima quantità di calorico entro un dato tempo, la quale esso corpo, essendo similmente a +40°, potrebbe comunicare all'acqua, essendo questa a +20°: in tal caso la lamina metallica prenderà appunto la temperatura di +40° C.; non una più elevata, perchè riceverebbe meno di quel che darebbe e verrebbe a raffreddarsi; non una più bassa, perchè riceverebbe più di quello ch'ella desse e si scalderebbe. Io non mi trattengo a considerare il caso che la lamina fosse grossa o poco conduttrice, essendo cosa che ognuno può esaminare da sè. Soltanto farò riflettere riguardo a queste particolarità, che i termometri che si immergono nei liquidi, non indicano esattamente l'andamento della temperatura del liquore che contengono, giacchè insino a tanto che lo strumento non è ridotto stazionario, il vetro della bolla partecipa e della temperatura del liquido interno e di quella dell'esterno.

Della comunicazione del Calorico fra i solidi e i fluidi aeriformi.

5o4. *Della comunicazione che ha luogo quando i fluidi aeriformi si muovono di solo moto idrostatico. Sperienze di Petit e Dulong.* Un solido che si trovi in mezzo all'aria o ad altro fluido aeriforme di lui più freddo, perde calorico in due maniere, e per comunicazione alle molecole del fluido aeriforme e per irradiazione. Affine adunque di potere studiare le leggi che riguardano la perdita per comunicazione all'aria o ai gas, è d'uopo prima separare i due effetti l'uno dall'altro. Questo è quello che fecero Petit e Dulong in un pregevolissimo lavoro sul raffreddamento dei corpi, nel quale fra le altre cose essi cercarono con quali leggi l'aria e gli altri fluidi aeriformi tolgano calorico ai corpi solidi movendosi del solo moto idrostatico (*).

Ecco il modo da essi tenuto per separare i due effetti. Prendevano una specie di grosso termometro a mercurio del diametro di 6 centimetri cui facevano scaldare fin presso alla ebollizione del mercurio, cioè fin verso +35o° C., ponevano questo così riscaldato entro ad un pallone di rame del diametro di 3o centimetri, annerito internamente e collocato entro una massa d'acqua ch'essi mantenevano con diligenza ad una temperatura costante: quindi con una macchina pneumatica votavano d'aria l'intervallo fra il termometro ed il pallone più perfettamente che potevano, e poscia osservavano con qual legge si andasse raffreddando il termometro posto così nel voto, in forza della semplice irradiazione, ossia determinavano con quanta velocità o abbondanza perdeva calorico esso termometro mentre trovavasi ad una o ad altra tem-

(*) *Annales de Chimie et de Phys.* t. VII, p. 113, 225. e 337

peratura; e questo raffreddamento o questa perdita di calorico la desumevano dalla discesa del mercurio stesso nel tubo dello strumento che avanzava fuori del pallone (*). Ciò eseguito, tornavano a rifare l'esperienza in altro modo, lasciando cioè nell'intervallo fra il pallone ed il termometro ora dell'aria ad una o ad altra densità, ora altri gas pure a densità diverse; ed osservavano quanto si facesse più rapido il raffreddamento nei diversi casi, vale a dire quanto s'aumentasse la perdita di calorico fatta dal termometro ad una o ad altra temperatura per l'introduzione di quei gas. E questo accrescimento di perdita era appunto l'effetto della sottrazione del calorico che veniva fatta al termometro dall'aria o dai gas introdotti: nè vi aveva parte veruna qualche cangiamento che fosse sopravvenuto nell'irradiazione, essendosi i due autori assicurati, con prove indirette sì ma concludenti, che per la presenza di questi gas l'irradiazione non s'alterava minimamente.

Bensì un'altra causa complicava leggermente le sperienze, ed era un piccolo residuo d'aria che negli sperimenti preliminari riguardanti la legge dell'irradiazione non poteva essere tolto dalla macchina pneumatica, e il quale aggiungeva sempre qualche piccola cosa all'effetto della semplice irradiazione. Ma i sagaci sperimentatori trovarono modo di valutare anche questo di più, e di depurare così interamente la

(*) Veramente l'oggetto che i due autori ebbero di mira nelle loro sperienze fu quello di determinare la *velocità del raffreddamento*, la quale è una cosa differente dalla velocità con cui un corpo perde il calorico. Si può però facilmente far passaggio dalla prima alla seconda; poichè moltiplicando il numero de' gradi de' quali un corpo si raffredda per la massa di esso e per la sua capacità specifica si ottiene immediatamente la massa d'acqua che dal calorico perduto dal corpo potrebbe venire scaldata di un grado. Nella esposizione di queste sperienze mi è parso più chiaro l'attenermi di preferenza a quest'ultima velocità.

legge dell'irradiazione, da cui poscia poterono dedurre con esattezza quella anche della comunicazione del calorico ai gas.

Da tali sperienze, ch' essi ripeterono e variarono in moltissime guise, si ricavarono riguardo alla sottrazione del calorico operata dall'aria e dai gas i risultamenti che seguono. Noi differiremo ad altro luogo l'esposizione di quelli ottenuti riguardo all'irradiazione, così volendo l'ordine che ci siamo proposti di seguire.

505. I. *La velocità colla quale i gas sottraggono calorico ai solidi non dipende punto dalla natura delle superficie di questi ultimi.*

Ciò si è riconosciuto dall'osservare che tanto lasciando nuda la bolla vitrea del termometro posta entro al pallone, quanto coprendola d'una foglia d'argento, purchè le altre circostanze influenti rimanessero le stesse, la suddetta sottrazione di calorico presentava affatto la medesima legge. Ed è un fatto ben singolare e molto lontano da quanto si sarebbe aspettato, stante che l'irradiazione varia in vece moltissimo col variar la natura della superficie dei corpi.

506. II. *Però ad altre circostanze pari varia assai questo effetto per la natura dei gas.*

Si è trovato che sotto la pressione di 72 centimetri di mercurio, il gas che possiede la maggior facoltà di sottrarre calorico, movendosi del solo moto idrostatico, si è l'idrogeno; a questo seguono per ordine il gas oleofacente o idrogeno percarburato, l'aria comune, l'acido carbonico: ne' quali quattro gas la facoltà suddetta, sotto la menzionata pressione, è rispettivamente come i seguenti numeri: 3,49; 1,36; 1,00; 0,96 (*).

(*) S'accorda con queste sperienze ciò che aveva alcuni anni prima trovato il Leslie, cioè che la perdita di calorico che un corpo soffre pel contatto dell'idrogeno, lasciando a parte l'effetto dell'irradiazione, è quadrupla di quella sofferta pel contatto dell'aria. *Bibl. Brit. Scienc. et Arts*, 1814, t. LV, p. 283.

Ella è cosa da essere notata che la maggiore attitudine a togliere calorico si trova nel gas più leggiero, e la minore nel più denso. Però non è regolare questa corrispondenza colle densità: si osserva in fatti che il gas oleofacente e l'aria, i quali nella densità sono vicinissimi, sono invece molto differenti riguardo alla facoltà di sottrarre calorico, e che all'incontro sono molto vicini riguardo a questa facoltà l'aria e l'acido carbonico, i quali nella densità differiscono notabilmente (sono le densità dei quattro gas suddetti espresse rispettivamente dai numeri 0,0688; 0,9816; 1,0000; 1,5245).

507. III. *Per un medesimo gas, per un medesimo solido, per una medesima differenza di temperatura fra il gas e il solido, la velocità con cui il calorico viene comunicato dal solido al gas, varia secondo che si cangia la forza espansiva di quest'ultimo, crescendo al crescere di questa forza.*

Se per mezzo dell'apparecchio de' signori Petit e Dulong si misura la facoltà che ha l'aria di sottrarre calorico ad un solido ad una data densità di essa, a una data sua temperatura, e ad una data differenza di temperatura fra essa e il solido, supposto questo più caldo; e se in una seconda sperienza si determina la facoltà medesima corrispondentemente alla stessa temperatura dell'aria, alla stessa differenza di temperatura fra essa e il solido, ma ad una densità d'aria maggiore; si viene a trovare che per un siffatto aumento di densità, una tale facoltà dell'aria per togliere calorico si rende maggiore.

Similmente, se ritenuta l'aria alla medesima densità come nella prima sperienza e alla medesima differenza di temperatura col solido, si viene a riscaldare di un medesimo numero di gradi tanto il solido quanto l'aria (supposto che questa sia contenuta in un vaso chiuso), si trova che per una tale comune elevazione di temperatura, la quale produce anch'essa un aumento di forza espansiva, la trasmissione del calorico dal solido all'aria diventa più pronta.

Quello poi che è ben singolare si è che se l'aumento di forza espansiva prodotto nell'ultima sperienza dall'elevarsi

della temperatura, è lo stesso di quello cagionato nella sperienza precedente dall'accrescimento della densità, la trasmissione del calorico si rende più pronta in ambi i casi di una quantità medesima.

Ciò ha luogo per qualsivoglia altro fluido aeriforme; la sua facoltà per sottrarre calorico a un solido, supposta costante la differenza di temperatura, s'accresce sì per l'aumento della sua densità come per l'elevazione della sua temperatura, e s'accresce d'una stessa quantità quando l'aumento di forza espansiva prodotto dall'una o dall'altra causa sia il medesimo.

Segue di qui che nella determinazione di questa facoltà in un gas fa d'uopo bensì aver riguardo alla sua forza espansiva, ma non già alle circostanze che modificano questa forza che sono la densità e la temperatura; ossia, per rispetto a queste due circostanze, basta il considerare la pressione operata dal gas sulla superficie del solido a cui toglie calorico, ovvero anche la pressione a cui il gas sta sottoposto. Veggendosi che questa pressione si mantiene costante (supposto che non cangino le altre circostanze influenti di cui si parla negli altri paragrafi), noi ne possiamo conchiudere che anche la facoltà del gas per sottrarre calorico riman costante, quantunque la sua densità, p. e., si aumenti, e la sua temperatura (insieme con quella del corpo) si abbassi; perocchè se l'aumento della densità accresce di per sè l'attitudine a togliere calorico, l'abbassamento di temperatura la diminuisce, e nel caso nostro vi ha esatto compenso. Se veggiamo in vece accresciuta o diminuita tale pressione, si può conchiudere con sicurezza che è aumentata o diminuita altresì l'attitudine suddetta. E questo è un comodo pei Fisici, poichè a conoscere la facoltà, p. e., dell'aria per togliere calorico a un solido, supposta nota la differenza di temperatura, basterà consultare il barometro.

Non si altera però ugualmente in tutti i gas questa facoltà pel variare della forza espansiva. Se si esprime con p una tal forza espansiva, in ciascuno dei seguenti gas essa facoltà varia come le quantità sotto notate.

Aria . . . . . $p^{0,450}$
Acido carbonico. . . . . $p^{0,517}$
Idrogeno. . . . . $p^{0,380}$
Gas oleofacente, ossia idrogeno bicarburato . $p^{0,501}$

Ecco in questa tabella i valori di siffatta facoltà per l'aria asciutta corrispondentemente a diverse pressioni, fatta = 1 quella che corrisponde a 28 pollici.

Pressioni	28p	(0,m758)	Facoltà per sottrarre ec. 1,000
	27	(0, 731)	 0,984
	26	(0, 704)	 0,968
	25	(0, 677)	 0,950
	24	(0, 650)	 0,933
	23	(0, 623)	 0,916
	22	(0, 595)	 0,898
	21	(0, 568)	 0,880
	20	(0, 541)	 0,860

Possiamo notare in questa legge il vantaggio, che viene da essa moderato alcun poco l'effetto del freddo delle regioni superiori dell'aria e dei paesi elevati, sopra i corpi animali.

508. IV. *Per un medesimo gas, per un medesimo solido, e per una stessa forza espansiva del gas, la facoltà di questo per togliere calorico è maggiore o minore, secondo che è maggiore o minore la differenza di temperatura fra esso gas e il solido. E varia una tale facoltà in una ragione più rapida che non fa la differenza di temperatura suddetta, cioè prossimamente in ragione della potenza* 1,233 *di quest'ultima.*

In una sperienza eseguita dai citati autori con dell'aria sottoposta alla pressione di 0m,72 di mercurio essi hanno trovato che il grosso termometro da essi adoperato, corrispondentemente alle qui sotto notate differenze di temperatura fra esso e il pallone di rame, perdeva tanto calorico per la comunicazione all'aria stessa, che continuando uniformemente a soffrir questa perdita per un minuto primo, sarebbe disceso de' gradi centigradi notati nella seconda colonna della seguente tabella.

Differenze di temperatura	Gradi di raffreddamento
200° C.	5,°48
180	4, 75
160	4, 17
140	3, 51
120	2, 90
100	2, 27
80	1, 77
60	1, 23
40	0, 75
20	0, 32

Si scorge da questa tabella che passando da piccole differenze di temperatura a differenze grandi, i numeri esprimenti le perdite di calorico crescono in una più rapida ragione che queste differenze: talchè ad una differenza di temperatura di 40° C. corrisponde un raffreddamento più che doppio di quello ad una di 20° C., ad una differenza di 60° C. il raffreddamento è più che triplo, ec. E i due autori trovano, ed è cosa facile a riscontrarsi, che *i* gradi di raffreddamento prodotti da questa perdita di calorico sono misurati con grande precisione dalla espressione

$$V \cdot t^{1,233}$$

dove t indica in gradi centigradi la differenza delle temperature, e V è un coeficiente indipendente da t.

Passando ad un altro caso particolare qualsivoglia, dove si abbia o una pressione diversa, o un altro gas, o una diversa forma o grossezza del termometro, otterrannosi per differenze di temperatura uguali alle precedenti delle perdite di calorico espresse con numeri diversi da quelli della esposta tabella, ma però tali che potranno ancora essere espressi dalla formola suddetta

$$V \cdot t^{1,233}$$

dove soltanto la V avrà un valore diverso da quello del caso precedente.

Osservazione. Egli è però da avvertire che la temperatura a cui si doveva aver riguardo, rispetto al corpo solido, nella ricerca di questa legge, non era già quella che veniva indicata dai gradi del termometro adoperato dai signori Petit

e Dulong e che prossimamente era quella del mercurio contenuto nella bolla vitrea; ma bensì ella doveva esser quella dello strato più esteriore della bolla vitrea medesima; poichè la prontezza della comunicazione del calorico dipendeva direttamente soltanto da quest'ultima temperatura, nè vi aveva parte diretta quella degli strati più interni nè quella del mercurio contenuto. Ora da quello che si è detto più sopra ai § 473 e 503, è facile il conchiudere che l'esterna superficie di una bolla termometrica, la quale si vada raffreddando si dee trovare qualche poco più fredda del mercurio contenuto: e ciò 1.° perchè dev'essere un po' più fredda di questo mercurio anche la superficie interna, se questa gli deve andar levando calorico; 2.° perchè la superficie esterna del vetro medesimo dev'essere più fredda per qualche frazione di grado della superficie interna, affinchè il calorico tolto al mercurio interno possa essere condotto all'esterno e comunicato all'aria. Oltre a ciò l'essere il vetro alcun poco più freddo del mercurio contenuto fa restringere la capacità della bolla ed aumenta di qualche piccola cosa le indicazioni; il che accresce ancor più la differenza fra la temperatura che si doveva assumere e quella indicata dallo strumento. Non sembra che i sagaci sperimentatori abbiano posto mente a queste piccole cose, come nemmeno ad una particolare irregolarità de' termometri recentemente scoperta dal Bellani, e di cui non abbiamo ancora fatto parola. Il perchè converrebbe, a mio giudicio, che queste sperienze venissero rifatte di nuovo, aggiungendo qualche altra diligenza alle moltissime già adoperate. E in questo lavoro si dovrebbe cercare di non rimanersi, come si fece, alla determinazione delle *velocità di raffreddamento* corrispondenti alle diverse temperature del corpo cimentato, ma di determinare altresì le *quantità di calorico* che possono venir comunicate ai gas entro ad un dato tempo corrispondentemente alle varie temperature suddette, tenendo conto della diversa capacità pel calorico che ha il corpo secondo che è più caldo o più freddo (§ 438). Perciocchè se si ha fiducia di trovare una relazione semplice, si dee questa sperare fra la temperatura più superficiale del corpo e la quantità del calorico comunicata al gas. Intanto noi possiamo ritenere che la rapidità della comunicazione del calorico da

un solido ad un gas, poste le altre circostanze pari, sia in una ragione molto prossima a quella della potenza 1,233 della differenza delle temperature.

509. Nel vero egli era da aspettarsi che le perdite di calorico non dovessero variare nella semplice ragione delle differenze di temperatura, ma in una ragione più rapida. Perocchè chi avesse considerato la cosa *a priori*, avrebbe stimato che un gas, passando più volte accanto ad un solido colla medesima velocità ma con temperature diverse, toglierebbe delle quantità di calorico che sarebbero nella precisa proporzione delle differenze di temperatura, e che perciò quando s'aumentassero simultaneamente e la differenza di temperatura e la velocità del gas (come in fatti è più veloce il moto idrostatico di un gas il quale venga impiegato più freddo, rimanendo alla medesima temperatura il solido di esso più caldo che gli sta in mezzo), le sottrazioni di calorico dovrebbero crescere in una ragione più rapida che le differenze suddette. Siccome però non si conosce nè qual sia la velocità del moto idrostatico di un gas corrispondentemente ad una data differenza di temperatura, nè qual sia l'influenza di questa velocità nella sottrazione del calorico, e nemmeno se sia vero il supposto che a pari velocità sieno le sottrazioni di calorico proporzionali alle semplici differenze di temperatura, così la vera legge non poteva ricavarsi che col mezzo delle sperienze.

510. V. *Influenza della grandezza, della figura, e della posizione del corpo solido.* Rispetto a queste particolarità non si sono ancora fatte che ben poche sperienze, per cui converrà contentarci di alcune nozioni generali.

Primieramente, per quello che riguarda la *grandezza*, possiamo notare, che avendosi più corpi solidi simili di forma e similmente collocati rispetto all'orizzonte, ma di diversa grandezza, e i quali si trovino posti separatamente in luoghi di molta ampiezza rispetto alle loro dimensioni, se tutte le altre circostanze influenti sono pari, tanto maggiore è la quantità di calorico comunicata all'aria o al gas che loro

sta d' intorno, quanto più grande si è la loro estensione superficiale. E ciò per più ragioni: 1.° perchè quanto più è grande il corpo solido, tanto più a lungo vi dimora in contatto l' aria o il gas che vi passa accanto, e tanto più tempo ha per riscaldarsi a spese di esso solido; 2.° perchè essendo maggiore il corpo, il moto idrostatico riesce più veloce, siccome quello che vien prodotto dal riscaldamento di colonne aeriformi di maggiore altezza e recate a più elevata temperatura; 3.° perchè, quanto maggiore è il corpo, tanto più numerose sono le colonne aeriformi che s' innalzano accanto alla sua superficie, crescendo esse presso a poco nella ragione del contorno della sua projezione orizzontale. Essendo adunque maggiore il corpo sono più numerose le colonne aeriformi ascendenti, sale maggior copia d' aria in ciascuna colonna, e maggior calore concepisce ciascuna molecola aeriforme; dev' essere quindi evidentemente maggiore la quantità di calorico comunicata. Toccherà però alla sperienza a far conoscere se questa quantità di calorico sia nella ragione diretta semplice delle superficie o in una ragione diversa.

Frattanto da alcune prove che io feci a questo riguardo mi pare di poter dedurre che, tanto nel caso che qui consideriamo cioè che i corpi sieno posti nell' aria tranquilla di maniera che essa non prenda altro moto che quello dovuto al calore di essi, quanto nel caso che esamineremo or ora (§ 512) cioè che essa aria si muova altresì per qualche altra estranea cagione, la quantità di calorico comunicata all' aria stessa varii in una ragione meno rapida di quella delle estensioni superficiali (vedi più sotto a' § 559 e 560).

La figura del solido ha anch' essa evidentemente la sua parte. Se un vaso ripieno di acqua riscaldata avrà il fondo esternamente convesso, comunicherà all' aria maggiore quantità di calorico, a parità delle altre circostanze, che se questo fondo presenterà all' esterno

una forma concava. Così pure, a pari estensione superficiale, cederà all' aria più calorico un corpo la cui superficie sia tutta convessa cioè senza nessun ripiegamento nè cavità, che un corpo il quale abbia la superficie ripiegata in molte guise, in modo da presentare molte cavità.

Hanno finalmente influenza in questo effetto sì la posizione del corpo rispetto all' orizzonte come altresì la sua situazione in mezzo ai corpi circostanti. Si è per esempio osservato che se si fa passare una corrente aeriforme riscaldata per un tubo metallico, questo ad altre circostanze pari comunica all' aria circostante maggiore quantità di calorico quando è verticale che quando è orizzontale (1). Così pure si è sperimentato che se intorno ad un tubo metallico verticale il quale conduca all' alto una corrente aeriforme riscaldata, noi mettiamo alla distanza di due o di tre centimetri un altro tubo metallico più largo ed aperto da ambe le estremità, di maniera che nell' intervallo vi possa facilmente scorrere l'aria, il tubo interno viene a perdere più calorico che se mancasse il tubo esteriore (2).

Sembra che il secondo tubo scaldandosi per irradiazione riscaldi ed acceleri la corrente aerea che sale fra i due tubi.

Se il corpo riscaldato si trova entro un vaso chiuso tenuto ad una determinata temperatura, con un intervallo che non superi il diametro del corpo contenuto, la quantità del calorico comunicata all' aria dipende verisimilmente anche dalla grandezza di questo intervallo. Quando però un tale intervallo è assai più grande delle dimensioni del corpo contenuto, pare che la sua grandezza non abbia più sensibile influenza; perciocchè in alcune sperienze eseguite dai signori

(1) Péclet, *Traité de la Chaleur*, Paris, 1828, t. II, p. 382.
(2) *Ibid.*

Petit e Dulong non si aveva differenza riconoscibile dall'effetto dell'aria contenuta nel pallone di rame, all'effetto di una massa d'aria indefinita.

Omettiamo anche qui di parlare dell'effetto della conducibilità del solido, e di quello della sua capacità specifica pel calorico, essendo ben chiaro in qual modo esse possano influire.

511. Tutto quanto si è fin qui detto, vale appuntino anche pel caso de' corpi freddi che si pongono a riscaldare entro i gas caldi. Benchè non si sieno fatte su ciò delle sperienze dirette, vi ha senza dubbio una perfetta reciprocità col caso dei corpi caldi che si raffreddano nei gas freddi: talchè se in un medesimo gas si pongano due corpi eguali di grandezza, e simili fra loro in tutte le loro qualità, colla sola differenza che l'uno sia più caldo del gas, e l'altro per altrettanti gradi più freddo, egli è da credere che, per quello che riguarda la comunicazione del calorico col gas, e lasciando a parte l'irradiazione, si avrà tanta prontezza nel perdere calorico per l'un de' corpi, quanta nell'acquistarne per l'altro.

512. *Della comunicazione del calorico fra i solidi e i fluidi aeriformi, ne' casi ove questi ultimi non si muovano del semplice moto idrostatico.*

Noteremo prima di tutto che anche in questo caso non ha sensibile influenza la natura chimica della superficie dei corpi che si raffreddano. Ciò si ricava dal vedersi che questa natura chimica non influisce allorchè i gas si muovono a contatto de' solidi per semplice moto idrostatico (*). Perciocchè è ben chiaro che se questa qualità de' corpi avesse parte nella comunicazione del calorico allorquando il moto è dovuto a cagioni estranee, dovrebbe questa influenza manifestarsi anche nel caso del semplice moto idrostatico, vale a dire, nel caso che i gas si muovano per differenza di

(*) V. più sopra al § 505.

gravità specifica prodotta da differenza di temperatura. Quella che può direttamente aver parte nel fenomeno si è la velocità del movimento, non già il modo con cui il movimento viene prodotto.

Oltre a queste ragioni, possiamo citare in appoggio una sperienza di Leslie. Avendo egli preso due globi metallici cavi di ugual diametro, l'uno colla superficie nuda e lucente, l'altro colla superficie annerita con uno strato di nero di fumo, li riempì entrambi di acqua calda, e gli espose all'aria verso il finire della giornata affinchè non avesse sensibile effetto il calore che accompagna la luce celeste. Egli trovò che per raffreddarsi da una data temperatura fino ad un'altra temperatura data, quando il vento era leggiero l'acqua del globo annerito impiegava 35 minuti, e quella del globo lucente 44; a un vento più forte i tempi impiegati erano rispettivamente 20′ ½ e 23′; a un vento fortissimo essi erano 9′ e 9′ ½. L'ultimo risultamento mostra che quando l'aria passa molto velocemente accanto a un corpo solido più caldo, vale a dire, quando il raffreddamento di questo è dovuto quasi interamente al contatto dell'aria, non concorrendovi l'irradiazione che per una ben piccola parte, in tal caso il tempo di questo raffreddamento non dipende quasi nulla dalla natura della superficie dei corpi (*).

Sarebbe poi da vedere su questo particolare se vi abbia qualche diversità fra i corpi che presentano molto attrito ai fluidi aeriformi che vi strisciano vicino, e i corpi che presentano poco attrito.

513. Egli è chiaro in vece che questa comunicazione di calorico è tanto più pronta quanto più è grande la velocità relativa fra il solido e il gas, sia

(*) Haüy *Physique*, ediz. 1821, t. I, p. 113. — Leslie, *An Experimental Inquiry into the nature and propagation of heat*, Londra, 1804, p. 271.

che il primo si muova in mezzo al secondo, sia che il secondo passi sulla superficie del primo. E ciò viene confermato dalla sperienza di Leslie or ora citata. Non si sa però con precisione secondo qual legge influisca questa velocità (*).

Egli è similmente evidente che ha una grandissima parte nel fenomeno la differenza di temperatura fra il solido e il fluido aeriforme, e che tanto più pronta è la trasmissione del calorico quanto più è grande una cotal differenza; ma la legge secondo cui varia la quantità del calorico trasmesso secondo le varie grandezze di questa differenza, non è nota nemmeno essa.

Per rispetto poi alla influenza particolare della natura dei gas, della loro densità e della loro temperatura, non si può per ora asserir nulla.

514. Osserveremo per ultimo che se verranno lasciati raffreddare o anche riscaldare dei corpi o all'aperto o in una camera d'abitazione, entro aria in somma che non sia chiusa in piccolo spazio, egli avverrà che quantunque quest'aria vi paja tranquilla, nulladimeno dopo che la differenza di temperatura fra essa aria e i corpi suddetti si sarà fatta molto piccola, la quantità del calorico data o presa all'aria stessa non sarà rigorosamente quella espressa dalla formola.

V. 1-1,283

ma sarà sempre alcun poco più grande; e ciò a cagione dei piccoli movimenti, dei quali, indipendentemente dal moto idrostatico, l'aria non è mai affatto libera. Io ho trovato che in una camera non vasta e dove l'aria sembrava tranquilla, de' termometri ad alcool e a mercurio impiegavano nel raffreddarsi di un dato numero di gradi, un quarto o un quinto di tempo meno che stando in vasi chiusi.

(*) Si possono vedere nella *Biblioth. Brit. Sciences et Arts*, t. LV, p. 285 i risultamenti di alcune sperienze fatte su questo soggetto dal Leslie.

Sarebbe qui il luogo di parlare della comunicazione del calorico fra i liquidi e i gas. Però quando si tratti di liquidi non evaporabili, quali sarebbero alle ordinarie temperature l'olio d'uliva e il mercurio, la questione è la medesima come se nel vaso si contenesse un solido di superficie orizzontale: onde per questi non occorre aggiungere altro a quanto si è già detto precedentemente riguardo alla comunicazione fra i solidi e i gas. In quanto poi ai liquidi evaporabili è facile il vedere che alle due cause di raffreddamento comuni co' solidi, l'irradiazione cioè e il contatto dei gas, se n'aggiunge un'altra assai efficace che è quella del freddo prodotto dall'evaporazione (§ 459); ma sull'effetto di quest'ultima alle varie temperature non possiamo per ora dir nulla di preciso.

CAPO V.

DEL CALORICO RAGGIANTE

515. L'irradiazione è l'altro dei modi coi quali un corpo può perdere o acquistare calorico stando isolato in mezzo all'aria. Ed altresì è l'unico modo di comunicazione del calorico fra più corpi posti lontani l'un dall'altro in uno spazio vacuo.

L'esistenza di questa irradiazione si può riconoscere da una semplicissima osservazione dovuta a Scheele. S'accorse questi che ponendosi d'innanzi alla bocca di una stufa molto ardente, gli veniva sul volto una quantità di calorico che gli si dirigeva contro in linea retta, e che dal moto dell'aria interposta non poteva in verun modo venir deviata dalla sua direzione. Oltre a questa se n'hanno mille altre prove, come avremo occasione di vedere nello esporne le leggi.

Noi cominceremo a parlare del modo secondo cui il calorico raggiante si muove e in genere delle pro-

prietà che esso possiede considerato in se medesimo; quindi tratteremo del modo con cui i corpi si prestano alla sua propagazione.

Delle proprietà del Calorico raggiante considerato in se stesso.

516. Quando in mezzo a più corpi di temperatura uniforme se ne trova uno più caldo, questo oltre al calorico che cede all'aria contigua, ne lancia altresì attraverso a quest'aria una abbondante quantità detta *calorico raggiante* (§ 470); e questa si diffonde da ciascun punto della sua superficie a guisa di tanti raggi che partano da un centro, movendosi velocissimamente e secondo tante linee rette in sino a che incontri qualche altro corpo, e decrescendo di intensità in ragione reciproca del quadrato delle distanze.

Le rette secondo le quali si diffonde il calorico raggiante che emana da un punto particolare della superficie di un corpo riscaldato, sono evidentemente tutte quelle le quali rispetto ad un piano tangente alla superficie medesima in quel punto, si possono condurre dal punto medesimo verso lo spazio libero ossia verso la banda opposta a quella ove trovasi il corpo.

517. Considerando separatamente le quantità di calorico che partono secondo le diverse direzioni da una piccola porzione della superficie del corpo caldo (piccola tanto che si possa riguardar come piana), queste non sono tutte fra loro uguali. La quantità maggiore è quella secondo la direzione della perpendicolare alla superficie raggiante, e quanto più la direzione de' raggi calorifici si allontana da questa perpendicolare, tanto minore è la loro intensità. La legge però di questa degradazione non è ancora stata bene studiata (veggasi più sotto al § 538).

518. Che il calorico raggiante dopo spiccatosi dalla superficie del corpo riscaldato cammini in linea retta

si può argomentare da questo, che interponendo un ostacolo fra esso corpo e un termometro, in guisa che vengano intercettate tutte le rette che si possono condurre dall' uno all' altro, il secondo cessa dal sentire gli effetti dell' emanazione calorifica del primo.

519. Sulla velocità colla quale il calorico raggiante si muove nell' aria sono state fatte alcune sperienze dal celebre Pictet, il quale ha ritrovato che appena venga permessa ad un corpo la libera irradiazione del calorico verso un altro, col togliere gli ostacoli che si frapponevano, immediatamente quest' ultimo dà segni di riscaldamento benchè collocato alla distanza di 60 ovvero 70 piedi (1). Ella è cosa molto difficile lo estendere siffatte sperienze a distanze maggiori, atteso il rapido indebolimento dell' intensità de' raggi medesimi anche ajutati dall' apparecchio de' due specchi concavi usati da Pictet e che descriveremo più sotto (§ 521). Vi ha però ogni ragione di credere che la velocità di questa propagazione, tanto nell' aria che nel vacuo, sia grandissima, molto maggiore della velocità del suono e forse pari a quella della luce, inducendoci in questa opinione le molte analogie che esistono fra essa luce e il calorico raggiante.

520. Per riguardo al decremento dell' intensità di questo calorico, risulta dalle sperienze di Lambert (2) ch' ella segue la ragione reciproca dei quadrati delle distanze; cioè che collocando un termometro alle distanze orizzontali 1, 2, 3, ec., da un corpo riscaldato, la sua temperatura si eleva entro un dato piccolo tempo di quantità che sono come i numeri 1, 1/4, 1/9, ec., avendo così luogo anche in questo caso quella medesima legge colla quale decrescono l' intensità della luce e quella della gravità. A dir il vero sarebbe questa una proprietà evidente, se si fosse sicuri della materialità del calorico; perocchè quella quantità di esso, che partita da un

(1) Pictet, *Essais de Physique*, p. 77.
(2) *Ibid.* p. 36.

punto riscaldato alla distanza 1 si spande sullo spazio superficiale 1, alla distanza 2 si dovrebbe spandere sullo spazio 4, alla distanza 3 sullo spazio 9, ec. Ma non essendo sicura questa materialità, dee la proprietà in questione venirci dimostrata dalla sperienza; ed anzi ella è cosa desiderabile che ora, attesa la grande perfezione a cui sono stati recati i mezzi di sperimentare, le citate sperienze vengano di nuovo rifatte; tanto più che Leslie crede di aver trovato una legge di decremento diversa dalla suddetta.

Egli è però probabile che una cotal legge non valga rigorosamente se non nel vacuo, e che nell'aria si verifichi sensibilmente soltanto alle piccole distanze, avendo luogo per le grandi distanze una degradazione più rapida, a cagione dell'assorbimento che di una parte di calorico vien fatto dall'aria stessa.

521. Quando il calorico raggiante incontra la superficie di un corpo, una parte di esso viene rimandata indietro o come suol dirsi *riflessa*, ed una parte penetra dentro al corpo.

Nel caso che la superficie del corpo riflettente sia liscia, si è trovato che preso a considerare il calorico che arriva su di essa secondo una retta unica o in un *raggio unico*, quella parte di esso calorico che viene riflessa sta raccolta in un raggio unico anche dopo la riflessione; e oltre a ciò si è trovato ch'ella prende una tal via che *gli angoli di incidenza e di riflessione sono uguali ed esistono in un medesimo piano.*

Per intendere che significhi quest'ultima proposizione, immaginiamo che ACB (fig. 8, 9, 10) rappresenti la superficie del corpo riflettente la quale può essere o piana o concava o convessa, che IC indichi il raggio di calorico che arriva ad essa superficie nel punto C, CP la perpendicolare alzata dal punto C della superficie medesima, CR la retta secondo cui s'allontana dal corpo la parte del suddetto raggio che viene riflettuta indietro. Si suol chiamare

IC *raggio incidente*,
C *punto d'incidenza*,
CR *raggio riflesso*,
ICP *angolo d'incidenza*,
PCR *angolo di riflessione*;

e la riflessione, nel caso che la superficie del corpo sia liscia, avviene con tal legge che l'angolo ICP uguaglia l'angolo PCR, e che le tre rette CI, CP, CR esistono in un medesimo piano detto il *piano di incidenza*.

Per dimostrarlo si dispongono due specchii parabolici l'uno in faccia all'altro coi loro assi in una medesima retta (fig. 11). Nel foco A dell'uno si pone un corpo riscaldato, qual sarebbe un ferro rovente, un carbone acceso, un vaso che contenga acqua bollente, ec., e nel foco B dell'altro si colloca o dell'esca facile ad accendersi o un pezzettino di fosforo o una delle bolle del termoscopio di Rumford, secondo che è più o meno elevata la temperatura che si intende di eccitare. E perchè questa disposizione meglio si ottenga, si comincia a mettere nel primo foco A la fiamma di una candela accesa, e si colloca o l'esca o quell'altro corpo che si vuol riscaldare in quel luogo B avanti il secondo specchio, dove i raggi di luce della fiamma, dopo sofferta una riflessione dal primo specchio che li rimanda in direzioni parallele, ed un'altra dal secondo che li rimanda in direzioni convergenti, vengono finalmente a concentrarsi; quindi si sostituiscono nel preciso luogo della fiamma quei corpi da cui deve essere emesso il calorico.

L'esito della sperienza si è che dopo pochi istanti, quando siasi posto il ferro rovente o il carbone l'esca e il fosforo si accendono, e quando siasi messa semplicemente dell'acqua calda si hanno dal termoscopio degli indizii sensibilissimi di riscaldamento. Nè questo dipende già da calorico che venga direttamente a tali corpi dalla sorgente calorifica; perciocchè spostandoli

alcun poco e ravvicinandoli a quest'ultima, i menzionati effetti cessano o almeno si indeboliscono d'assai. Nasce veramente il fenomeno da calorico raggiante, che dal corpo riscaldato viene lanciato verso il primo specchio, da questo viene riflesso verso il secondo, e da quest'ultimo, mediante una nuova riflessione viene diretto sui corpi posti nel suo foco, comportandosi tanto nella prima che nella seconda riflessione nel modo medesimo della luce della candela, cioè facendo l'angolo di riflessione uguale e in uno stesso piano coll'angolo d'incidenza; tale in fatti si dimostra nell'Ottica essere la legge della riflessione regolare della luce.

522. In quanto alla intensità che il calorico riflesso ha alle diverse distanze dal corpo riflettente, opinano i Fisici, che ricevendo un piccolo fascio di raggi riflessi su di una superficie ad essi perpendicolare, e avvicinando o allontanando gradatamente questa dal corpo riflettente suddetto, opinano dico che la intensità dell'azione di quel fascetto varii nella precisa ragione reciproca dell'area che esso viene ad occupare in quella superficie; di maniera che questa intensità vada crescendo all'allontanarsi dal corpo riflettente allorquando i raggi riflessi convergono, e vada decrescendo nel caso contrario. Secondo una tale dottrina, se gli specchii della sperienza or ora descritta sono ben lavorati e ben collocati, ed è similmente ben collocato il corpo caldo nel foco del primo di essi, l'intensità de' raggi riflessi dal primo specchio è pressochè uguale sì da vicino che da lontano, per tutte quelle distanze alle quali il fascio totale di questi raggi conserva sensibilmente la medesima larghezza. I raggi in vece riflettuti dal secondo specchio, al partire da questo si fanno gradatamente più attivi sino al suo foco, quivi hanno la massima intensità, e allontanandosi maggiormente dallo specchio tornano di nuovo a indebolirsi. Ciò che qui diciamo rispetto

al secondo specchio è anche quello che ci mostrano effettivamente le sperienze.

523. Quando la superficie del corpo su cui arriva il calorico raggiante è ruvida, in tal caso esso viene ancora in parte rimandato indietro nel medesimo *stato* di calorico raggiante; ma questo calorico riflesso si sparpaglia in molte direzioni, divergendo secondo tante linee rette da ciascuno dei punti riflettenti. Questa maniera di riflessione, la quale ha luogo anche pe' raggi di luce che arrivano sui corpi non lisci, si appella la *riflessione irregolare.*

Che avvenga di quella parte di calorico che penetra entro al corpo il vedremo di poi.

Del modo di prestarsi de' corpi rispetto alla propagazione del Calorico raggiante, e primieramente della Emissione del medesimo.

524. Il calorico raggiante comincia dall'essere *emesso* da quei corpi dai quali esso proviene; arrivato su altri corpi esso viene in parte *riflesso;* la parte che penetra viene talvolta per intero trattenuta entro al corpo ossia *assorbita;* talvolta però nol viene che per una porzione, continuando la porzion rimanente a muoversi in istato raggiante anche dentro al corpo con direzione probabilmente cangiata, e quest' ultima porzione si può chiamare *rifratta* o anche *trasmessa.*

Di qui è che nel calorico raggiante si possono considerare quattro sorte di accidenti in esso cagionati dall'azione de' corpi, l'*Emissione* cioè, la *Riflessione*, l'*Assorbimento*, e la *Trasmissione.*

525. *Facoltà emittente.* Sebbene qualsivoglia corpo che si trovi a più elevata temperatura che i corpi circostanti, lanci o *emetta* calorico raggiante verso di questi, nulladimeno l'attitudine ad emettere questo calorico, chiamata la facoltà *emittente* non è uguale

in tutti. Prendendo più corpi perfettamente uguali di forma, recandoli a una stessissima temperatura, e conservandoli in questa (p. e. col guidare entro un vano praticato in ciascun d'essi una corrente di vapore acqueo), e quindi collocandoli l'uno dopo l'altro in un medesimo luogo, si mostrano essi diversamente atti a riscaldare i corpi vicini per mezzo dell'irradiazione, quale li scalda più, e quale meno.

Può variare la facoltà emittente in corpi della medesima natura per le sole qualità meccaniche della superficie. In generale questa facoltà è tanto minore quanto più la superficie è netta e liscia, e al contrario ella è tanto maggiore quanto più essa superficie è ruvida e striata. Per dimostrarlo si suol prendere un vaso metallico di forma cubica, ove le pareti laterali sieno tutte e quattro della stessa sostanza e della stessa grossezza, ma l'una sia esternamente affatto liscia, e le altre sieno più o meno scabre e solcate in varie direzioni. Lo si riempie di acqua calda, e lo si pone nel foco A di uno de' due specchii concavi MN, PQ della fig. 11 già descritta, rivolgendo verso lo specchio suddetto MN or l'una or l'altra delle quattro faccie laterali; quindi si colloca al foco B dell'altro specchio un delicatissimo termometro, e se ne osservano le indicazioni, aspettando a ciascuna volta ch'esso siasi reso stazionario. Si trovano con ciò per le diverse faccie dei risultamenti molto diversi; p. e. la faccia liscia fa elevare il termometro di un grado, mentre la più ruvida il fa innalzare di due e mezzo o di tre, e le altre di uno e mezzo o di due.

I termometri dei quali si fa uso in queste ricerche sono comunemente il *Termoscopio di Rumford* e il *Termometro differenziale di Leslie*. Il Termoscopio di Rumford già menzionato altrove (§ 148) vedesi rappresentato dalla fig. 12.

Per servirsene nella sperienza di cui parliamo, non si fa altro che porre una delle sue bolle nel foco dello

specchio metallico PQ, tenendo riparata l'altra con lamine di vetro o d'altra natura dal calore della persona ed anche dal calorico che essa bolla potrebbe direttamente ricevere dal vaso caldo: siccome nel foco del suddetto specchio PQ si concentra una gran parte dei raggi calorifici che dal vaso cubico si dirigono verso lo specchio MN, così l'aria contenuta nella bolla si eleva prontamente di qualche poco al di sopra della temperatura che avea dapprima, e determina la goccia liquida che trovasi nella parte orizzontale del tubo a muoversi verso l'altra bolla. Questo strumento è prontissimo nell'indicare le temperature, ed è sì delicato che può facilmente mostrare i centesimi ed anche i dugentesimi di grado centigrado.

Il Termometro differenziale di Leslie non è gran fatto diverso dallo strumento precedente. Esso è formato da due bolle di vetro non d'altro ripiene che d'aria, poste comunemente l'una più alta dell'altra, ed unite per di sotto da un tubo ricurvo pure di vetro, il quale nella curvatura inferiore e in una parte delle braccia ascendenti è ripieno di un liquido colorato, p. e. d'acido solforico tinto con carminio (V. la fig. 13). Si usa anch'esso nel modo medesimo del Termoscopio, e gode esso pure di una grande delicatezza.

526. Varia inoltre la facoltà emittente secondo la natura chimica degli strati più superficiali che ricoprono il corpo che emette calorico. Per riconoscere siffatta differenza, come anche per misurare in numeri le facoltà emittenti delle diverse sostanze, si fa uso dello stesso sistema di specchii concavi, e d'un vaso metallico cubico simile al precedente, che abbia le pareti molto sottili; si coprono successivamente queste pareti colle sostanze che si vogliono sperimentare ridotte anch'esse in lamine sottili, affinchè alla loro esterior superficie abbiano la medesima temperatura dell'interno del vaso, e si riempie questo di acqua calda, e si procede quindi come precedentemente.

Operando a questo modo il Leslie ha ottenuto varii risultamenti, de' quali se ne trovano alcuni nella tabella seguente. In questa le facoltà emittenti delle diverse sostanze si trovano espresse da numeri proporzionali ai gradi di temperatura dei quali in un dato tempo veniva elevato il suo termometro differenziale, essendosi dato il numero 100 alla facoltà emittente del nero di fumo che è la maggiore di tutte.

Nero di fumo	100
Acqua	100
Carta da scrivere	98
Pece	96
Crown-glass o vetro ordinario	90
Inchiostro della China	88
Ghiaccio	85
Piombo appannato per l'azione dell'aria	45
Mercurio	20
Piombo lucente	19
Ferro lucido	15
Oro, argento, rame, foglia di stagno	12 (1)

Quando una superficie metallica liscia venga leggiermente bagnata d'acqua o d'olio o di qualche altro liquido, la sua facoltà emittente s'accresce notabilmente. Lo stesso avviene sovrapponendovi un sottilissimo strato di qualche vernice; e ciò che è degno d'essere notato si è che un secondo strato la accresce ancora, e così un terzo, un quarto, ec., fino ad una certa grossezza (2). Secondo Leslie, coprendo una su-

(1) Noteremo qui che il fenomeno da noi appellato *irradiazione* viene dal Leslie riguardato sotto un altro aspetto; il crede egli consistere in certe *pulsazioni* dell'aria, che difficilmente si riesce a concepire, e le quali sono affatto smentite dalla irradiazione del calorico nel voto. Malgrado però queste sue idee teoretiche alquanto singolari, i fatti di cui gli dobbiamo la cognizione riguardo al calorico raggiante sono importantissimi.

(2) Pouillet, *Élémens de Phys.* t. I, p. 377.

perficie liscia d'argento con una sola foglia di quella pellicola d'intestino di bue di cui si servono i battilori d'oro e la quale non supera in grossezza $^1/_{300}$ di pollice, viene ad aumentarsi la facoltà emittente come 1 a 7; una seconda simile foglia che si aggiunga fa aumentare la facoltà suddetta come 7 a 9; e così fino a cinque foglie, colle quali la facoltà emittente arriva alla sua massima grandezza che è decupla di quella corrispondente alla superficie nuda (*). Si deduce da ciò che i raggi del calorico non partono solamente dall'estrema superficie di un corpo, ma eziandio dai punti ad essa sottoposti sino ad una certa piccola profondità. Al di là però di una certa grossezza i nuovi strati che si aggiungono o di vernice o di pellicola, fanno diminuire di nuovo l'irradiazione; perciocchè con questi ultimi strati la facoltà emittente non viene più aumentata, e invece viene opposta al calorico la difficoltà del dover attraversare una materia poco conduttrice.

527. Il grado comparativo delle facoltà emittenti di più sostanze sembra che sia lo stesso per un gran tratto della scala delle temperature. Quella del vetro e quella della foglia d'argento con cui Petit e Dulong coprivano talvolta il loro termometro (§ 504) erano nella proporzione di 2,037 a 0,357 (ossia di 90 a 16) tanto alle temperature vicine a 0°, quanto a quelle poco sotto 300° C.

528. *Osservazione.* Dalle relazioni che fra poco vedremo esservi fra la facoltà *emittente* e le facoltà *riflettente* ed *assorbente*, si è ricavato che la prima di queste ha un massimo cui non può oltrepassare. Questo massimo corrisponde alla emissione *libera*, a quella cioè nella quale il calorico che si trova alla superficie di un corpo riscaldato e che è sollecitato ad uscire e a lanciarsi nello spazio dall'altro calorico esistente

(*) *Bibl. Brit. Sc. et Arts*, t. LV, p. 278.

sotto la superficie medesima, non prova verun impedimento alla sua uscita, ma esce in tutta quella copia che è voluta dalla temperatura o dalla forza repellente del calorico sottoposto suddetto. Questa emissione libera però a tutto rigore non si ha giammai, poichè qualunque sia la natura particolare della superficie dei corpi, il calorico trova sempre qualche impedimento alla sua uscita: secondo poi che questo impedimento è minore o maggiore, si hanno i diversi gradi della facoltà emittente.

Si crede che il nero di fumo lasci uscire il calorico quasi affatto liberamente: molta opposizione gli fanno in vece le superficie metalliche liscie e nude; ma venendo sovrapposti a tali superficie degli strati di vernice, tornano questi a facilitare una tale uscita.

529. La cognizione di queste differenze nelle facoltà emittenti de' varii corpi può servire alla spiegazione di diversi fatti, e può essere impiegata utilmente in parecchie occorrenze della vita.

Un vaso d'argento liscio non perde, secondo Leslie, che la metà di quel calorico che viene perduto in pari circostanze da un vaso di porcellana; e ricoprendo quest'ultima sostanza di uno strato sottilissimo d'oro o d'argento o di platino che le dia lo splendore metallico, ella acquista la facoltà di conservare molto meglio il calorico, non perdendone dopo ciò che circa due terzi di quel che perdeva prima in pari tempo. Ed è a notarsi che in questo disperdimento del calorico ha parte considerabilissima anche il contatto dell'aria, il quale opera ad uno stesso modo con tutte le specie di corpi: se non fosse questo contatto, le differenze si mostrerebbero ancora più notabili.

La flanella è un cattivo conduttore del calorico; pure rivestendone per una grossezza o anche per due un vaso di superficie metallica liscia che sia ripieno di un liquido caldo, il raffreddamento di quest'ultimo viene accelerato. Non così avviene sovrapponendone

tre doppii; perocchè allora, essendo la maggiore facoltà emittente compensata dalla maggiore difficoltà del calorico ad attraversare la flanella, viene esso calorico conservato come allorquando la superficie metallica è nuda. In genere il più pronto raffreddamento corrisponde a una sola grossezza di flanella; aggiungendone di più il raffreddamento si rende continuamente più tardo.

Riempiuta d'acqua bollente una bottiglia di vetro o un vaso di porcellana, e avvicinatavi la mano a un pollice o due di distanza, sentesi un dolce calore; ma se la prova si fa con un vaso d'argento, il calore non si sente se non quando si è quasi al contatto della superficie metallica.

I vasi metallici lucenti sono ottimi per serbar caldo lungo tempo un liquido; oltre a che, per quello che vedremo più innanzi, essi sono pure ottimi per mantenere freddo un liquido che siasi in essi versato tale. L'adoperare però nudi e lucenti i vasi metallici è utile solamente quando riesca incomodo il rivestirli di legno o d'altra sostanza poco conduttrice, e non convenga usare de' vasi di legno: in caso diverso è più efficace a trattenere il calorico uno strato di legno di una linea o due di grossezza, che non l'aver debole la facoltà emittente.

Volendo trasportare il calorico da un luogo ad un altro per mezzo del vapore, giova che il tubo abbia esteriormente lo splendore metallico, se però non lo si voglia rivestire di sostanze poco conduttrici. Al contrario, volendo impiegare questo calorico per riscaldare una camera, giova tingere esteriormente i tubi di color nero (*).

530. *Influenza della estensione della superficie dei corpi sull'effetto dell'irradiazione.* Ella è cosa facile a vedersi che la quantità del calorico emesso per ir-

(*) Leslie nella *Bibl. Brit. Sc. et Arts*, t. LV, p. 278, 279, 280, 281.

radiazione da un corpo di data temperatura collocato entro ad uno spazio alquanto esteso (affinchè non torni a ricevere indietro per riflessione una sensibile quantità del calorico già da lui emesso) e che sia circondato da un inviluppo di temperatura uniforme, è in ragione diretta semplice della superficie raggiante. Infatti la quantità del calorico che emana per irradiazione da una porzione determinata della superficie del corpo, non dipende che dalla temperatura che ha ivi il corpo medesimo, e dalla temperatura dell'inviluppo al quale quel calorico raggiante viene lanciato; ma non vi ha nessuna influenza nè la posizione della parte suddetta di superficie rispetto all'orizzonte, nè l'essere piccola o grande la rimanente superficie, nè il trovarsi quest'ultima piuttosto disposta ad un modo che ad un altro. In conseguenza di che se si collocheranno successivamente e separatamente dentro ad uno stesso inviluppo più corpi mantenuti ad uguali e costanti temperature (ciò che si otterrebbe col prendere, p. e., dei recipienti pieni di stagno fuso che si lasciasse solidificare), e si distingueranno in questi corpi parecchie uguali porzioni di superficie, queste in egual tempo emaneranno tutte delle quantità di calorico uguali; e però le totali quantità di calorico emanate dalle intere superficie di quei corpi, saranno proporzionali alle totali estensioni di queste superficie stesse. È però d'uopo che tutte le suddette superficie sieno in ogni lor parte convesse o almeno piane, vale a dire che non abbiano cavità in nessun punto, giacchè essendovi di queste è facile lo scorgere che il calorico raggiante che partisse da esse tornerebbe in parte ad essere assorbito dal corpo.

531. *Influenza della temperatura sulla emissione del calorico.* Oltre alla diversa facoltà emittente che i corpi posseggono pel differente stato chimico e meccanico della loro superficie, e oltre alla estensione di questa medesima superficie, vi ha un'altra circo-

stanza principalissima che influisce sulla quantità del calorico che un corpo perde per mezzo dell' irradiazione; e questa si è la temperatura, tanto quella del corpo medesimo, quanto quella dei corpi circostanti.

Sull' influenza di questa temperatura, ommettendo di parlare delle ricerche anteriori, furono instituite delle diligenti sperienze dai già citati Dulong e Petit, delle quali noi esporremo brevemente i risultamenti. Tali sperienze furono quelle principalmente ch' essi fecero per determinare il raffreddamento del loro termometro nel voto, e le quali furono come preparatorie di quelle riguardanti la comunicazione del calorico ai gas (Vedi § 504). Messo adunque il grosso termometro ben riscaldato entro al pallone di rame, ridotta l'acqua che circondava questo ad una temperatura determinata, e fatto il vacuo colla maggiore diligenza possibile, determinavano essi la legge con cui il termometro si andava raffreddando, e dai risultamenti ottenuti detraevano quel poco che era dovuto al contatto dell'aria residua. Or eceo a quali conseguenze furono essi condotti.

A parità di temperatura dei corpi circostanti, e ad altre circostanze pari, la quantità del calorico che viene irradiato da un dato corpo è tanto maggiore, entro la medesima durata di tempo, quanto più è grande l'eccesso della sua temperatura sulla loro. Ma questa quantità non è nella ragion semplice delle differenze di temperatura, come antecedentemente si credeva da molti, bensì in una ragione più rapida come fra gli altri aveva già notato Delaroche (*); talchè al raddoppiarsi, p. e., o al triplicarsi dell'eccesso di temperatura, s'aumenta l'effetto dell'irradiazione in maggior proporzione che da uno a due, o da uno a tre, rispettivamente.

A pari differenza poi di temperatura coi corpi cir-

(*) Biot, *Traité de Phys.* 1816, t. IV, p. 635.

costanti, quanto più è elevata la temperatura di questi, tanto più copiosa è la perdita di calorico dipendente dall'irradiazione. Vale a dire, se si eseguiscono due sperienze con uno stesso corpo, e con una medesima differenza di temperatura fra esso e i corpi circostanti, ma nell'una delle quali sperienze la temperatura dei corpi circostanti sia più bassa e nell'altra sia più elevata, si trova che l'irradiazione fa perdere al corpo maggior calorico allorquando i corpi circostanti si trovano alla temperatura più elevata. A cagione d'esempio un corpo irraggia più calorico allorchè si trova a +100°C. in mezzo a corpi che sono a +20°, che non fa trovandosi a +80° in mezzo a corpi che siano a 0°. In ciò l'irradiazione differisce dalla comunicazione del calorico pel contatto coi gas a pressione costante; nella quale poste uguali le differenze di temperatura, abbiamo veduto essere sempre uguali le perdite di calorico, comunque variino le temperature effettive (§ 507).

Perchè riesca più sensibile una tale relazione fra l'irradiazione e le temperature noi esporremo nella tabella seguente i risultamenti ottenuti dai due autori pel loro grosso termometro a bolla di vetro nuda, essendo l'inviluppo esteriore alle temperature 0° C., +20° C., +40° C. I numeri delle colonne 2.ª, 3.ª, e 4.ª esprimono i gradi centigradi dei quali esso termometro avrebbe potuto raffreddarsi in un minuto primo, continuando a perdere per tutta questa durata di tempo quella quantità di calorico che irradiava alle temperature indicate corrispondentemente nella prima colonna. Si è aggiunto nella 5.ª colonna l'effetto che alle medesime differenze di temperatura avrebbe potuto essere prodotto separatamente dal solo contatto dell'aria ad una pressione di 0,m72 di mercurio, e ciò all'oggetto che si possano comodamente paragonare fra loro i due effetti.

Differenze di temperatura fra il termometro e l'inviluppo.	Velocità del raffreddamento per l'irradiazione			Velocità del raffreddamento pel contatto dell'aria alla pressione di 0,m 72.
	essendo l'inviluppo a 0° C.	essendo l'inviluppo a +20° C.	essendo l'inviluppo a +40° C.	
240°C.	10°,69	12°,40	14°,35	
220	8, 81	10, 41	11, 98	
200	7, 40	8, 58	10, 01	5°,48
180	6, 10	7, 04	8, 20	4, 75
160	4, 89	5, 67	6, 61	4, 17
140	3, 88	4, 57	5, 32	3, 51
120	3, 02	3, 56	4, 15	2, 90
100	2, 30	2, 74	3, 16	2, 27
80	1, 74	1, 99	2, 30	1, 77
60		1, 40	1, 62	1, 23
40		0, 86		0, 75
20		0, 39		0, 32

532. *Osservazione.* Dalla precedente tabella noi possiamo ricavare che alle più comuni pressioni e temperature dell'atmosfera, e ad eccessi di temperatura compresi fra 20° C. e 100° C., un corpo riscaldato colla superficie di vetro nudo, e il quale abbia le medesime dimensioni della bolla termometrica adoperata dai due sperimentatori, soffre presso a poco tanta perdita di calorico per l'irradiazione quanta pel contatto dell'aria. Però a differenze di temperatura più grandi di 100° C. in un tal corpo prevale l'irradiazione. E così pure, se nella precedente tabella si determinassero degli altri termini che corrispondessero a differenze di temperatura minori di 20° C., facendo

uso delle formole che i due autori hanno dedotte dalle loro sperienze, si troverebbe che anche in questo caso pel corpo medesimo sarebbe prevaluto l'effetto dell'irradiazione.

La ragione di questo si è che considerando le variazioni de' due effetti separati, per cagione del farsi minore o maggiore la differenza delle temperature, si trova che alle grandi differenze l'effetto dell'irradiazione varia con una legge più rapida che non l'effetto del contatto dell'aria, che alle piccole differenze in vece esso effetto dell'irradiazione varia con legge più lenta, e che per un certo tratto intermedio della serie di queste differenze di temperatura i due effetti variano con legge sensibilmente uguale. Ne avviene che se la figura e le dimensioni del corpo sono tali che i due effetti non differiscano gran cosa quando la differenza fra la temperatura del corpo e quella dell'aria contigua e de' corpi circostanti è p. e. di 40° C. o di 50° C., potranno essi effetti mantenersi presso a poco uguali per un esteso tratto della serie di queste differenze di temperatura; passando a maggiori differenze di temperatura, diverrà prevalente l'effetto dell'irradiazione, siccome quello che s'aumenta con legge più rapida; e passando a differenze più piccole tornerà esso similmente a prevalere, in grazia del suo diminuirsi con legge più lenta.

Questa diversa maniera di variare de' due effetti è una nuova diversità da aggiungersi a quelle che si sono potute notare superiormente sì riguardo alla influenza della temperatura dei corpi circostanti (§ 507 e 531), come riguardo all'influenza dell'estensione superficiale del corpo che perde calorico (§ 510 e 530), e a quella della natura della sua superficie (§ 505, 525 e 526).

533. Avendo i due sperimentatori esaminato l'andamento dei numeri esposti nelle colonne 2.ª, 3.ª, e 4.ª, della tavola precedente, riconobbero che questi possono rappresentarsi per mezzo della seguente formola semplicissima

1. $$G = m\left\{1{,}0077^{T} - 1{,}0077^{t}\right\}$$

ove

T esprime in gradi centigradi la temperatura del corpo che irradia il calorico,

t quella dell'inviluppo,

m è un coefficiente costante, il quale pei citati numeri è uguale a 2,037,

G finalmente è il numero de' gradi centigradi, de' quali la temperatura del corpo cimentato si abbasserebbe in un minuto primo, se esso continuasse per tutta questa durata di tempo a irradiare calorico colla medesima velocità o abbondanza come esso fa mentre ha precisamente la temperatura T.

Rifatte le sperienze medesime colla bolla coperta d'una foglia d'argento, trovarono de' numeri più piccoli de' precedenti, ma tali però che anch'essi potevano esprimersi colla medesima formola, senz'altro cangiamento che quello di mutare il valore del coefficiente costante, facendolo uguale a 0,357.

Su questi numeri però e su questa formola noi possiamo fare le medesime considerazioni che abbiamo già fatte al § 508 per rispetto alla comunicazione del calorico ai gas. E perciò è da credere che la formola elementare e rigorosa (quella cioè che dovrebbe esprimere non già la *legge del raffreddamento*, ma bensì la legge della *quantità del calorico irradiato* da una determinata estensione superficiale alle diverse temperature di quest'ultima) quando si arrivi mai a trovarla, differirà alcun poco dalla sovraesposta.

Per ora noi possiamo ritenere che questa quantità di calorico irradiata sia misurata con molta approssimazione dalla formola seguente

$$\text{II.} \qquad Q = S.E.C.\left\{1{,}0077^{T} - 1{,}0077^{t}\right\}$$

essendo

T, t i gradi centigradi di temperatura della superficie raggiante e dell'inviluppo rispettivamente, nel supposto che questo inviluppo sia di una estensione molto maggiore che il corpo che irraggia il calorico, ovvero ch'esso inviluppo sia privo di facoltà riflettente;

S l'estensione della superficie raggiante;

E la facoltà emittente, supposta $= 1$ quella che corrisponde all'emissione libera del calorico;

C un coefficiente costante somministrato dall'esperienza; Q la quantità di calorico che verrebbe emessa dalla superficie raggiante in un minuto primo, nel supposto che in tutta questa durata di tempo la superficie suddetta mantenesse la temperatura T, e presa per unità delle quantità di calorico quella che può scaldare un grammo d'acqua di 1° C.

Quando la facoltà emittente della superficie raggiante sia quella del vetro, e per unità delle superficie venga preso il centimetro quadrato, si trova essere prossimamente

$$E.C = 0{,}91$$

quindi prossimamente

II. $$Q = 0{,}91 . \delta \left\{ 1{,}0077^{T} - 1{,}0077^{t} \right\}$$

Chiamando in fatti rispettivamente

r, s

il raggio e la superficie della grossa bolla termometrica adoperata da Petit e Dulong, espressi rispettivamente in centimetri lineari e quadrati, il volume della medesima era di centimetri cubici

$$\frac{1}{3} rs$$

La sua capacità specifica a pari volume coll'acqua, essendo essa bolla formata di poco vetro e di molto mercurio, era all'incirca (§ 434)

$$0{,}445;$$

e però la sua capacità *totale* pel calorico era equivalente a quella di centimetri cubici di acqua

$$0{,}445 . \frac{1}{3} rs$$

Ma quando ella era a bolla nuda, colla temperatura di gradi T, e dentro un inviluppo della temperatura t, perdeva tanto calorico in un minuto primo da potersi raffreddare (Vedi la formola I.) di gradi

$$2{,}037 \left\{ 1{,}0077^{T} - 1{,}0077^{t} \right\};$$

perciò in questa durata di tempo, a tali temperature e a tale stato superficiale, poteva emettere la quantità di calorico

$$2{,}037\left\{1{,}0077^{T}-1{,}0077^{t}\right\}.0{,}445.\frac{1}{3}r^3;$$

Ma secondo la formola II. questa quantità di calorico è altresì misurata da

$$s.E.C\left\{1{,}0077^{T}-1{,}0077^{t}\right\};$$

dunque si ha pel vetro nudo

$$E.C=\frac{1}{3}r.0{,}445.2{,}037.$$

Posto ora $r=3$, giacchè il diametro della bolla era circa di 6 centimetri, ed eseguite le moltiplicazioni indicate, si ha

$$EC=1.0{,}445.2{,}037$$
$$=0{,}91$$

534. Le sperienze da cui sonosi tratte le precedenti conclusioni sono state fatte dentro un inviluppo limitato, che aveva soltanto il diametro di 30 centimetri. La circostanza però dell'essere il pallone internamente annerito faceva che si avessero quasi gli stessissimi risultamenti come se si fosse operato in uno spazio estesissimo. La superficie interna in fatti, per quello che vedremo poco sotto, era pochissimo atta a riflettere il calorico ch'ella riceveva dal termometro, e quel poco che pure essa ne rifletteva non veniva ricevuto dal termometro che in pochissima quantità, andando il resto a terminare nuovamente sulle pareti del pallone: così il termometro veniva al più a ricevere indietro una quattrocentesima o una cinquecentesima parte o anche meno di quel calorico ch' esso irradiava. In quanto poi all'azione che l'inviluppo aveva pel calorico suo proprio, vedremo che per riguardo al termometro ella era la medesima come se un tale inviluppo avesse avuta una estensione immensa (§ 543).

Ben diversa sarebbe stata la cosa se l'inviluppo fosse stato internamente lucido e di più piccole dimensioni; esso avrebbe allora restituito al termometro una parte del calorico che questo irradiava, e il raffreddamento sarebbe stato più lento.

535. *Osservazione.* La perdita di calorico che in grazia dell'irradiazione avviene in un corpo collocato in mezzo ad altri che sieno incapaci di restituirgliene per riflessione, e il quale goda del massimo grado di facoltà emittente ossia emetta

l calorico *liberamente*, si concepisce siccome l'effetto di due irradiazioni contrarie ed ineguali, l'una più grande operata dal corpo stesso verso quelli che gli stanno d'intorno, l'altra più piccola e operata da questi verso quello. La prima dipende soltanto dalla temperatura e dalla estensione superficiale del corpo riscaldato, e pare che abbia per sua misura l'espressione

IV. $$S.C\left\{1{,}0077^{T} - A\right\}$$

essendo T la temperatura del corpo riscaldato espressa in gradi centigradi,

S la superficie del corpo stesso,

C, A due coefficienti costanti.

La seconda, cioè quella del calorico che il corpo torna a ricevere dai corpi circostanti, dipende ancora dalla estensione superficiale di esso, ma non più dalla sua temperatura, bensì dalla temperatura de' corpi circostanti medesimi, e pare che debba aver per misura la espressione

V. $$S.C\left\{1{,}0077^{t} - A\right\}$$

essendo t la temperatura di questi ultimi corpi, ed

S, C, A le medesime quantità indicate poc'anzi con queste stesse lettere.

Uscendo dalla superficie del corpo la prima di queste due quantità di calorico ed entrandovi la seconda, viene in fine de' conti esso corpo a perderne la quantità

VI. $$S.C\left\{1{,}0077^{T} - 1{,}0077^{t}\right\}$$

che è quella già da noi esposta al § 532, ponendovi

$$E = 1$$

Quando l'emissione nel corpo considerato non è libera, siccome l'impedimento esiste in un modo perfettamente uguale (come or ora vedremo) tanto per l'uscita del calorico dall'interno del corpo, quanto per la entrata di quello che viene dal di fuori, così la formola non soffre altro cangiamento che quello dell'aggiunta di un coefficiente E minore di 1, e il quale ha un valore tanto più piccolo quanto più piccola è la facoltà emittente del corpo.

Se la espressione VI. fosse rigorosamente esatta, il valore del coefficiente A nelle espressioni IV. e V. sarebbe quello della quantità

$$1{,}0077^{t}$$

ove si desse a t il valore corrispondente allo zero assoluto di temperatura; perocchè a questo valore di t i corpi circostanti non potrebbero più irraggiare calorico, e la formola VI. dovrebbe coincidere colla IV.

Su queste reciproche irradiazioni de' corpi torneremo nuovamente poco sotto (§ 540).

Della Facoltà riflettente.

536. Lo stato e la natura della superficie di un corpo, i quali abbiamo veduto avere tanta influenza sull' emissione del calorico raggiante, influiscono altresì possentemente, benchè in modo contrario, sulla sua riflessione. Il pulimento della superficie la facilita, le ruvidezze la rendono minore; le sostanze metalliche riflettono il calorico eccellentemente, il nero di fumo, il vetro, la carta, ec., il riflettono pochissimo. In generale quelle qualità che rendono difficile la emissione del calorico, facilitano in vece la sua riflessione, donde possiamo conchiudere che una superficie riflettente respinge indietro non solo i raggi che giungono ad essa per insinuarsi nel corpo, ma quelli ancora che vengono dall' interno del corpo per uscirne.

Il Leslie fece una serie di sperienze dirette a determinare il rapporto delle facoltà riflettenti di diversi corpi, osservando le variazioni che la loro riflessione produceva in parità di circostanze sul suo termometro differenziale, e trovò che le seguenti sostanze riflettevano il calorico proporzionalmente ai numeri scritti a lato:

Ottone	100
Argento	90
Foglia di stagno	85
Stagno	80
Acciajo	75
Piombo brunito	60
Vetro	10
Vetro incerato o unto d'olio	5

537. Il medesimo Leslie ha dimostrato che la riflessione del calorico si fa sugli strati più superficiali dei corpi. Facendo egli riflettere i raggi calorifici da uno specchio di vetro osservò che l'effetto non variava in conto alcuno per le modificazioni della superficie posteriore, ma che avevasi precisamente l'effetto medesimo sì sfregando la posterior superficie con sabbia, con smeriglio, ec., come lasciandola nel suo stato naturale, sì ricoprendola d'una foglia di stagno, come lasciandola nuda. Non è però alla superficie matematica d'un corpo che si effettua la riflessione; perciocchè rivestendo una superficie metallica con qualche sostanza capace di attaccarvisi e che sia poco atta a riflettere il calorico, qual sarebbe p. e. la colla di pesce, la riflessione tanto più diminuisce, quanto più cresce la grossezza dell'incrostazione, non continuando però sensibilmente la diminuzione che sino ad una certa piccola grossezza. Ciò fa evidentemente conoscere che una parte del calorico il quale arriva sul corpo penetra in istato di calorico raggiante sino alla superficie metallica, e che riflettuto indietro da essa ripassa nuovamente, nella condizione medesima di calorico raggiante, per lo strato sovrapposto, ma che in questi due passaggi ne rimane assorbita una parte, la quale è tanto maggiore quanto più è grosso lo strato medesimo.

538. Le numerose analogie che vi hanno fra il calorico raggiante e la luce, alcune delle quali le ve-

demmo già quando si parlò del muoversi di esso nello spazio, fanno presumere che i raggi calorifici che cadono su di una superficie liscia, vengano riflettuti indietro in tanto maggior proporzione quanto più grande angolo essi fanno colla perpendicolare alla superficie riflettente. Questo è quello in fatti che ha luogo per la luce. Non pare però, rispetto al calorico, che finora se ne sieno fatte delle sperienze.

Dell'assorbimento del Calorico raggiante.

539. Quella parte di calorico che penetra entro la superficie di un corpo, se questo è opaco viene da esso internamente trattenuta ne' primi strati, riscaldando questi e divenendo *repente;* il che esprimesi col dire ch'ella è *assorbita.* Se il corpo è trasparente non viene assorbita in totalità, ma una piccola porzione passa innanzi conservando lo stato radiante.

Facoltà assorbente. Considerando per ora soltanto i corpi opachi, ella è evidente cosa, per chi ammetta la materialità del calorico, che l'attitudine loro ad assorbirlo, chiamata *facoltà assorbente*, dev'essere complementaria della facoltà riflettente, vale a dire che di quanto l'una cresce pel cangiarsi di qualche circostanza, di tanto precisamente dee l'altra diminuire; perciocchè i raggi calorifici riflessi aggiunti a quelli assorbiti debbono uguagliare la totalità de' raggi incidenti. Ora questo è stato pienamente confermato dalla sperienza, la quale ha dimostrato che dove è maggiore l'una di queste facoltà, è sempre minore l'altra. Uno specchio metallico terso, il quale gode in alto grado della facoltà di riflettere, non si riscalda sensibilmente col venire esposto ad una sorgente calorifica: in vece esso si riscalda prontamente se viene coperto d'olio o di qualche vernice che il renda meno atto alla riflessione. Così i corpi scabri ed oscuri sono ottimi per assorbire, pessimi all'incontro i lisci e splendenti.

Quello poi che è degno d'ogni considerazione si è he fra la facoltà assorbente e la emittente vi ha una erfetta corrispondenza. Si è trovato che queste vaiano con la stessissima legge sì pel cangiamento della atura dei corpi e dello stato della loro superficie, come ltresì pel cangiamento dell'angolo d'inclinazione fra superficie dei corpi e i raggi calorifici o emessi o la assorbirsi (ammesso che anche questa inclinazione nfluisca su tali facoltà). Se al variare del corpo o del- inclinazione rendesi doppia o tripla l'una di esse, loppia o tripla si fa anche l'altra. Di modo che si può ritenere che in tutti i corpi opachi la facoltà assorbente e la emittente siano in esatta proporzione l'una dell'altra, e che entrambe sieno complementarie della facoltà riflettente.

Prima di passare innanzi noteremo alcuni fatti, i quali ricevono facilissima spiegazione da questi principii. Uno può essere quello di cui si è già parlato al § 529, cioè che i vasi metallici, i quali sono ottimi per mantenere caldi i liquidi, servono benissimo anche per conservarli freschi. Pictet fa osservare che posto sul fuoco un vaso d'argento liscio ripieno d'aoqua, esso si scalda con molto maggiore lentezza che uno di superficie annerita (1). Una sottile foglia metallica lucente può servire d'ottimo parafuoco, e allo stesso oggetto potrebbe usarsi un foglio di carta che fosse dorato da ambedue le facce (2).

Questa esatta corrispondenza fra le facoltà emittente ed assorbente si è riconosciuta principalmente dal considerare il fatto, che se vien collocato un corpo qualsivoglia dentro ad uno spazio rinchiuso tutto all'intorno da pareti che siano tenute ad una temperatura uniforme in tutti i loro punti e costante, questo corpo qualunque sia la sua posizione entro allo spazio chiuso, qualunque sia la forma e la natura

(1) *Bibl. Brit. Sc. et Arts*, t. LV, p. 280.
(2) *Ibid.* p. 282.

delle pareti, viene in ogni caso ad acquistare col tempo la medesima temperatura delle pareti stesse, ed acquistatala, la conserva costantemente; o per parlare più esattamente, si accostandosi a questa temperatura a segno da differirne dopo qualche tempo di una quantità piccolissima, e continua sempre ad avvicinarvisi maggiormente. Per poter dare una succinta idea della maniera colla quale da questo fatto si deduce la sovraesposta corrispondenza, gioverà premettere alcune nozioni sulla vicendevole irradiazione del calorico fra più corpi, in un modo più circostanziato che non si fece al § 535.

540. *Dottrina de' reciproci scambii.* Abbiansi due corpi uguali in tutto fra loro, posti in faccia l'uno dell'altro, dotati comunque o di uguale o di diversa temperatura, e i quali non possano perdere nè acquistare calorico dall'esterno, ma solo possano comunicarsene fra loro, e quasi unicamente per mezzo dell'irradiazione. Tali sarebbero due cavi emisferi di materia poco conduttrice uniti per gli orli, internamente ai quali si fosse fatto il voto, e i quali all'esterno avessero a contatto altri corpi tenuti costantemente ad equilibrio di temperatura coi punti toccati. Egli ci si presenta un doppio modo di concepire la vicendevole comunicazione di calorico che in essi corpi può aver luogo per mezzo dell'irradiazione.

Possiamo primieramente ammettere che allorquando le temperature sono ineguali, quello di essi che è più caldo non faccia che emettere, e quello che è più freddo non faccia che ricevere, e così le temperature a poco a poco si avvicinino e finiscano col divenire uguali, giunte al qual segno rimangano invariabili e cessi affatto ogni movimento del calorico.

Si può in secondo luogo concepire che contemporaneamente il corpo più caldo comunichi del suo calorico al più freddo, e il più freddo ne comunichi del suo al più caldo; e ciò di tale maniera che 1.° il corpo più caldo dia al più freddo una quantità di ca-

lorico dipendente dalla propria temperatura, dalla propria facoltà emittente, e dalla più o men grande facoltà assorbente del più freddo, in grazia della quale facoltà assorbente incominci il corpo più freddo ad ammettere una parte di quel calorico che gli viene direttamente inviato, quindi torni a ricevere una parte di quello stato rimandato indietro per riflessione verso il primo e dal primo stato rimandato di bel nuovo al secondo, in seguito accolga una parte di quello che ha sofferto quattro riflessioni, e così via via secondo una progressione decrescente; 2.° il corpo più freddo restituisca dal canto suo al più caldo una quantità di calorico dipendente dalla propria temperatura, dalla propria facoltà emittente, e dalla facoltà assorbente del suddetto corpo più caldo. Essendo più grande la quantità del calorico che il più caldo dà al più freddo di quello che a rincontro il più freddo faccia avere al più caldo, debbono le due temperature gradatamente ravvicinarsi, e col tempo confondersi insieme, e ciò tanto più perchè la comunicazione per contatto da molecola a molecola tende essa pure a questo medesimo fine; divenute uguali le temperature, saranno uguali i due scambii, e le temperature stesse rimarranno costantemente equilibrate.

Questa seconda maniera di vedere, stata primamente immaginata dal sig. Prevost di Ginevra, benchè paja men semplice al primo aspetto, è quella nulladimeno che più volentieri viene presentemente abbracciata dai Fisici. In fatti secondo questa ipotesi ciascun corpo emette una quantità assoluta di calorico indipendente da tutte le esterne circostanze, e che soltanto dipende dalle proprietà intrinseche di esso. Trovisi ad una temperatura qualunque il più freddo de' due corpi considerati precedentemente, e sia anche affatto privo di calorico, ciò nulla influisce sulla quantità assoluta di calorico emessa dal primo, la qual sarà sempre la medesima: questo corpo più freddo non ha altro potere

che quello di ammettere più o meno di un tale calorico emesso, secondo la propria facoltà assorbente. E così pure la quantità assoluta di calorico emessa dal corpo più freddo non dipende per nulla dalle circostanze in cui si possono trovare i corpi vicini, ed è la medesima come se essi fossero affatto privi di calorico. Ora queste idee sono affatto consentanee al complesso delle altre nozioni che noi abbiamo attualmente sulle proprietà del calorico. Laddove la cosa sarebbe ben diversa se si adottasse l'altro modo di vedere. In questo ultimo caso in fatti converrebbe ammettere che il calorico che tende ad uscire da un corpo, senta già prima ch'egli esca l'azione de' corpi vicini onde uscire in maggiore o minore quantità od anche non uscir punto, idea che non s'accorda per nulla colle altre nostre nozioni sul calorico.

541. Ciò premesso, il sig. Fourier ha dimostrato, che adottando questa seconda maniera ed ammesso altresì che vi sia fra le facoltà emittente ed assorbente la corrispondenza precedentemente dichiarata, si può dar rigorosa ragione di un gran numero di fatti che l'esperienza e l'osservazione ci hanno fatto conoscere. Esigendo cotali dimostrazioni dei sottili ragionamenti matematici che noi non vogliamo riportare, ci limiteremo ad esporre alcuni risultamenti. Potranno i lettori consultare in proposito le opere del medesimo sig. Fourier, e specialmente una sua memoria inserita negli *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXVII, p. 236. Ecco adunque alcuni di questi risultamenti.

1.° Abbiasi un inviluppo che chiuda uno spazio tutto all'intorno, e il quale alla esterior superficie venga mantenuto ad una temperatura uniforme per tutti i punti e costante. Avrà luogo in esso la proprietà che, qualunque sia la forma di esso inviluppo sì riguardo alla esterior superficie che riguardo alla interna, qualunque sia la materia ond' è formato, semplice cioè o composta, simile nelle diverse parti ovvero diversa, qualunque sia la facoltà emittente della superficie interna, o piccola o grande, o uniforme per tutti i punti o ineguale dall'un punto all'altro, qualunque

sia in fine la temperatura iniziale de' diversi punti di cotale superficie interna, elevata ovvero bassa, eguale per tutti i punti o diversa dall'un punto all'altro, sempre avverrà che *la suddetta interna superficie acquisterà col tempo la medesima temperatura della superficie esterna, e dopo acquistata la conserverà perpetuamente.* S'intende di dire, per usare il rigoroso linguaggio dei Matematici, che la temperatura di questa superficie interna si avvicinerà continuamente a quella della esterna, sino a differirne, dopo un tempo sufficiente, meno di qualsivoglia piccolissima quantità che piaccia assegnare, e che anche dopo sorpassato questo punto seguiterà continuamente ad accostarlesi ancor più.

2.° Collocato entro al vano dell'inviluppo precedentemente supposto un corpo qualsivoglia e in qualsivoglia posizione, si vicino alla superficie che in qualunque altro luogo più centrale, acquista anch'esso col tempo e di poi conserva costantemente la temperatura medesima delle pareti.

Ora questi risultamenti, i quali, giusta le dimostrazioni del Fourier, debbono aver luogo quando si verifichi la accennata corrispondenza, non possono regger più quando questa venga a cessare. Se, p. e., in un piccolo spazietto che facesse parte dell'interna superficie dell'inviluppo, supposto che questa superficie avesse dapprima uguali le facoltà emittente ed assorbente, e fosse già ridotta all'equilibrio di temperatura come si è esposto, se, dico, in questo piccolo spazio venisse a mutarsi la facoltà emittente senza che si mutasse in un modo simile la assorbente, si riducesse per esempio la prima alla metà e non così facesse la seconda, ne avverrebbe che in questo spazietto non sarebbero più uguali la quantità di calorico emessa e quella assorbita, ma il calorico o si aumenterebbe sotto questo spazietto superficiale o si diminuirebbe, e così l'equilibrio cesserebbe. Non così sarebbe succedendo un eguale mutamento in ambedue le facoltà; ma in questo caso l'equilibrio si manterrebbe. Perocchè se dal supposto spazietto venisse, p. e., a passare fuori meno calorico per la diminuita facoltà emittente, ne verrebbe in contraccambio ad entrare altrettanto meno in forza della diminuita facoltà assorbente, e nulla gli profitterebbe il meno perdere, e la quantità di calorico esi-

stente sotto ad esso spazietto continuerebbe ad essere precisamente qual prima. Essendo adunque questi risultamenti dall'un canto provati verissimi dalla sperienza, e dall'altro collegati necessariamente con la esatta corrispondenza fra le due facoltà emittente ed assorbente, egli è forza che anche questa corrispondenza si verifichi.

Osserva qui il sig. Fourier non essere necessario che la facoltà assorbente del calorico sia in un dato corpo la medesima per tutte le inclinazioni del raggio incidente; ma soltanto, s'ella varia con una data legge al variare di questa inclinazione, fa d'uopo che anche la facoltà emittente varii con la legge medesima per le diverse inclinazioni del raggio emesso (*).

542. La esatta corrispondenza però di cui qui trattiamo non è sicura se non nel caso che il corpo di cui si considerano le facoltà suddette, si trovi alla stessa temperatura di quell' altro da cui partono i raggi ch'esso debbe o riflettere o assorbire; valendo soltanto in questa supposizione le dimostrazioni accennate del Fourier. E forse avviene che quando un corpo riceve de' raggi emessi da un altro più caldo, esso assorba una maggiore porzione del total numero de' raggi incidenti, che quando riceve raggi mandati da uno che sia più freddo; talchè se, p. e, nel secondo caso ne assorbe un quarto della quantità totale, nel primo caso ne assorba $^1/_3$ o $^1/_2$ pure della quantità totale. Sarebbe opportuno l'instituire su ciò delle sperienze (Vedi più sotto § 547).

543. Un'altra molto importante conseguenza che si deduce dai calcoli di Fourier, e che noi non vogliamo ommettere si è la seguente. Se nello spazio contenuto dentro un inviluppo tutto chiuso e di temperatura uniforme e costante, noi immaginiamo una piccola periferia circolare, e consideriamo la quantità del calorico che dentro un dato tempo passa attraverso al vano ch'ella comprende, sì venendo dall'una banda per passare alla opposta, come venendo da quest' ultima per andare verso la prima, si trova che queste due quantità sono precisamente uguali, e sono le stesse per tutte le posizioni che può ricevere il cerchietto

(*) *Annales de Chimie et de Physique* t. XXVII, p. 258.

si rivolgendosi intorno a sè che trasportandosi da un luogo ad un altro, e non si mutano minimamente per nessun cangiamento nè della forma nè della facoltà emittente della superficie interna dell'inviluppo, purchè soltanto ne rimanga costante la temperatura; e sono esse uguali tanto l'una quanto l'altra alla quantità di calorico che uscirebbe da un uguale spazietto circolare che facesse parte della superficie di un corpo fornito del medesimo grado di facoltà emittente e dotato di quella medesima temperatura. E se si prende a considerare dentro al suddetto inviluppo un piccolissimo spazio sferico, egli è questo il luogo dell'incrocicchiamento di una infinità di raggi calorifici che ivi passano secondo tutte le direzioni avendo la medesima intensità in ciascuna direzione; talchè si può riguardare un tale spazietto siccome un centro al quale si dirigano da tutte le bande infiniti raggi, ugualmente intensi secondo ogni direzione, e dal quale similmente partano infiniti raggi, pure ugualmente intensi in ciascuna direzione; e la somma di tutti i raggi che si dirigono verso quel centro o di quelli che da esso si allontanano, non si muta nè pel cangiare di posizione del considerato spazietto sferico dentro all'immaginato inviluppo, nè pel cangiare della facoltà emittente ed assorbente della superficie interna dell'inviluppo medesimo, ma soltanto pel variare della temperatura; ed è uguale alla somma de' raggi calorifici che verrebbero emessi da un corpicello di simil figura e grandezza, il quale fosse tenuto alla medesima temperatura e la cui superficie fosse dotata del medesimo grado di facoltà emittente (*).

Fermandoci qui un momento su cotesta facoltà emittente massima, di cui noi avevamo già accennata più sopra l'esistenza (§ 528), egli è chiaro che essa è quella che corrisponde alla totale facoltà assorbente o alla nessuna facoltà riflettente. Ed ora è manifesto come la facoltà emittente non possa oltrepassare un certo grado: s'ella non avesse un determinato limite, si verrebbero ad avere dei corpi dove la facoltà emittente supererebbe l'assorbente, cosa che è impossibile.

(*) Veggasi la citata memoria di Fourier, p. 245.

544. *Calorico dello spazio.* Quantunque in uno spazio chiuso si trovi contenuta ad ogni istante una quantità immensa di raggi calorifici che lo attraversano in tutte le direzioni, la somma nulladimeno di tutti questi forma una quantità di calorico sì piccola, che non giungerebbe a poter riscaldare d'un modo riconoscibile un corpo anche piccolo. Appare questo da una ingegnosa sperienza instituita da Gay-Lussac, che è la seguente. Fece egli il voto Torricelliano in un cilindro di vetro entro a cui si trovava un delicato termometro ad aria, disponendo in modo l'apparecchio che lo spazio voto si potesse a piacimento aumentare e diminuire col mezzo di una massa di mercurio che occupava la parte inferiore del cilindro e che si poteva prontamente far salire e discendere (*). Se nel vano si fosse trovata una quantità sensibile di calorico raggiante, al restringersi dello spazio doveva questa, in proporzione del restringimento operatosi, gettarsi sulla interna superficie del vetro, su quella del mercurio e su quella del termometro, e fare elevare alcun poco la temperatura sì di quest' ultimo che delle altre suddette parti contigue al vano; dovevasi in vece per la ragione contraria avere un abbassamento di temperatura all' aumentarsi dello spazio. Ora, ad onta di ogni diligenza nell' osservare, non si ebbe nel termometro verun indizio sensibile di cangiamento di temperatura; per cui si venne a conchiudere che la quantità di calorico contenuta in uno spazio voto è al di sotto di quelle che coi nostri mezzi possiamo misurare. Questa sperienza servì anche a togliere il dubbio di alcuni Fisici, i quali sospettavano che dentro ad uno spazio chiuso, oltre al calorico raggiante, potesse altresì trovarsene una certa quantità stagnante o immobile, come succede dentro ai corpi che sono tenuti in un luogo di temperatura uguale alla loro.

(*) *Annales de Chimie et de Phys.* t. XIII, p. 304.

A dire il vero, non ammettendo in uno spazio voto che del calorico raggiante, egli era da pensare che così doveva riescire la sperienza. Perocchè il calorico che vien lanciato dentro ad uno spazio dalla interna superficie dell' inviluppo che il chiude, impiega un tempo estremamente piccolo a percorrere l' intervallo frapposto fra l'una parete e la contraria; e forse non vi impiega che qualche milionesimo di minuto secondo. Ora se ad un determinato istante non si trova dentro allo spazio chiuso se non che di quel calorico che venne lanciato durante un precedente spazio di tempo uguale alla già detta piccolissima frazione di secondo, questo calorico non può essere che in una quantità piccolissima. Un corpo infatti la cui superficie uguagli quella che limita all' intorno lo spazio chiuso, e la cui facoltà emittente sia la più grande possibile, posto anche in luogo assolutamente freddo, non potrebbe per mezzo dell' irradiazione raffreddarsi che di una quantità estremamente piccola in sì breve spazio di tempo. Ed è anche a notare che del calorico lanciato o per emissione o per riflessione dalle pareti dello spazio chiuso nel brevissimo tempo suddetto, una parte sola rimane ancora in cammino nell'istante considerato, poichè un'altra parte, avendo avuto a percorrere delle linee più brevi, ha già finito il suo cammino.

545. *Azione de' corpi freddi.* Se ad un corpo A che si trovi ad equilibrio di temperatura coi corpi circostanti e coll' aria contigua noi rechiamo vicino un altro corpo F che sia più freddo di essi, viene con ciò un tale corpo A a raffreddarsi, e l' azione frigorifica su di esso esercitata dal corpo F è in ragione reciproca dei quadrati delle distanze fra i due corpi, ben inteso che questi sieno di piccole dimensioni in confronto di tali loro distanze.

Che il corpo A debba raffreddarsi per la presenza del corpo F è un fatto d'assai facile spiegazione. Se in fatti il corpo F fosse alla stessa temperatura dei corpi circostanti, in tal caso gli scambii di calorico che si effettuerebbero per mezzo dell' irradiazione fra il corpo A e tutti i corpi circostanti, si compenserebb-

bero esattamente, sarebbe cioè la totale quantità di calorico che esso corpo *A* lancerebbe verso essi corpi circostanti, uguale a quella che in ricambio esso riceverebbe da questi per una contraria irradiazione. Ma se *F* è più freddo sì di *A* che de' corpi circostanti, non ha luogo questo compenso di scambii, essendo minore che nel caso precedente la quantità de' raggi calorifici che il corpo *A* riceve per irradiazione dal corpo *F*. È adunque pel corpo *A* maggiore la quantità di calorico perduta che non quella acquistata; e però è forza che esso corpo *A* si raffreddi.

Passiamo ora a dimostrare come l'azione refrigerante esercitata dal corpo *F* sugli altri corpi e in particolare sul corpo *A* vada scemando col crescere delle distanze da *F* in ragione reciproca de' quadrati di queste distanze; e supponiamo dapprincipio, per maggiore comodità, che i due corpi *A* ed *F* sieno sferici. Noi possiamo a quest'uopo riflettere che l'azione frigorifica del corpo *F* nasce tutta dal trovarsi soppressa la emanazione di una parte de' raggi calorifici che esso corpo scaglierebbe verso gli altri se si trovasse alla temperatura dell'ambiente. Chiamiamo *r* la somma di questi raggi soppressi, e veggiamo quale effetto essi produrrebbero da se soli alle diverse distanze, quando venissero ancora irradiati dal corpo *F*. Immaginando intorno ad *F* diverse superficie sferiche concentriche, egli è facile il vedere, nell'ipotesi della materialità del calorico, che l'azione di questi raggi *r* diverrebbe gradatamente più debole a proporzione che essi si venissero ad allargare su superficie sferiche di un più grande semidiametro, degradando in ragione inversa delle estensioni di queste superficie, ossia in ragione reciproca de' quadrati de' semidiametri di queste sfere; donde segue che portando il corpo *A* a diverse distanze da *F* esso riceverebbe su di sè, dipendentemente da cotali raggi *r*, una quantità di calorico raggiante che scemerebbe all'aumentarsi di queste distanze nella

ragione reciproca de' loro quadrati. Per la soppressione adunque de' raggi r viene a mancare un'azione calorifica la cui energia è in ragione reciproca dei quadrati delle distanze da F; e perciò il corpo A in particolare, finchè la sua temperatura non è sensibilmente discesa sotto quella de' corpi circostanti, perde pei non compensati scambii de' raggi calorifici una quantità di calorico raggiante la quale varia essa pure in ragione reciproca de' quadrati di queste distanze.

Si può dire una cosa somigliante pel caso che i corpi A ed F non sieno di figura sferica; ma allora oltre alla condizione che le distanze de' due corpi sieno molto maggiori de' loro diametri, è altresì necessario, affinchè si verifichi la suddetta legge, che il corpo A si allontani da F nella direzione di una linea retta condotta da esso corpo F, e che nè F nè A non si rivolgano intanto intorno a se medesimi.

Varia l'azione frigorifica di un corpo verso di un altro collocato ad una costante distanza da esso, a proporzione che il primo si trova a una maggiore o minor differenza dalla temperatura dell'ambiente. E fra l'azione refrigerante di un corpo freddo e l'azione riscaldante di uno caldo vi ha tale corrispondenza, che se i due corpi sono di ugual forma e ad uguale differenza, l'uno in più e l'altro in meno, dalla temperatura dell'ambiente, postovi in mezzo un terzo corpo ad uguale distanza dall'uno e dall'altro, rimane questo prossimamente alla temperatura dell'ambiente (*).

Varia eziandio questa azione refrigerante secondo la facoltà emittente del corpo freddo; stantechè quanto più ella è grande, tanto maggiore è il numero de' raggi di cui rimane soppressa l'irradiazione.

In fine l'effetto di questa azione sui varii corpi varia secondo il diverso grado della loro facoltà assorbente: quanto più grande è questa facoltà in un

(*) Gerbi, *Fisica*, t. III, p. 112, ediz. 1823.

corpo, tanto più grande è anche un cotale effetto, giacchè tanto maggiore sarebbe l'effetto che in esso corpo potrebbero produrre i raggi soppressi.

Ma fino a quale temperatura discenderà un corpo *A* per la presenza di un corpo più freddo *F*? — Scenderà fino ad una tale temperatura, che la quantità di calorico che esso corpo *A* andrà continuamente ricevendo, siccome più freddo, dal contatto dell'aria e dall'irradiazione de' corpi circostanti, compensi esattamente la quantità di calorico che il medesimo corpo *A* andrà comunicando al corpo più freddo *F* negli ineguali cambii con quest'ultimo.

546. *Apparente riflessione del freddo.* Se nell'apparecchio de' due specchii parabolici della fig. 11, in luogo di porre al foco dell'uno di questi un ferro rovente o altro corpo riscaldato, noi vi mettiamo o un pezzo di ghiaccio o una mescolanza frigorifica o qualsivoglia altro corpo che sia più freddo del luogo ove si fa la sperienza, il termoscopio posto al foco dell'altro specchio dà subito de' segni di un abbassamento di temperatura, e di un abbassamento che è di gran lunga maggiore di quello che può venire prodotto dalla sola presenza del corpo freddo senza l'opera degli specchii; parrebbe quasi che il ghiaccio o la mescolanza frigorifica emettesse de' raggi di freddo, i quali ricevuti dal primo specchio e rimandati da esso al secondo venissero da quest'ultimo riflettuti e concentrati sulla bolla del termoscopio. La ragione di un tale singolare fenomeno è la seguente.

Se mancassero i due specchii e il ghiaccio, e se nello stesso tempo tutti i corpi che si trovano nel luogo della sperienza fossero ad una medesima temperatura, in tal caso collocata la bolla del termoscopio nel posto che corrisponde al foco del secondo specchio, si porrebbe anch'essa a poco a poco, se già prima nol fosse, alla temperatura dei corpi vicini. Se quindi, dopo conseguita una tale tempera-

tura, venisse a porsi il pezzo di ghiaccio, senza però gli specchii, in questo altro caso attesi gli ineguali scambii che avrebbero luogo fra esso ghiaccio e la bolla, verrebbe essa a raffreddarsi alcun poco, ma di ben piccola cosa, per essere il pezzo suddetto e piccolo e lontano. Ma se dopo aver messo il ghiaccio, noi porremo anche i due specchii, in questo terzo caso il secondo specchio, quello cioè che è più vicino alla bolla impedirà a molti raggi calorifici lanciati verso questa dai corpi circostanti di poter arrivare ad essa ed esserne ricevuti, e sostituirà in loro vece quei raggi ch' esso secondo specchio riceve dal primo e che provengono in prima origine dal ghiaccio, raggi che sono molto men copiosi o intensi, siccome quelli che partono da un corpo assai più freddo de' corpi circostanti medesimi. In vece dalla medesima bolla verrà emessa in sulle prime quella medesima quantità di raggi calorifici come nel caso che mancassero gli specchii, venendo di questi raggi lanciata una parte verso i varii corpi vicini, e una parte verso il secondo specchio, il quale li manderà per riflessione al primo e questo li concentrerà sul ghiaccio. La presenza adunque de' due specchii renderà per la bolla del termoscopio molto minore l' assorbimento de' raggi calorifici e lascierà nel primiero stato la emissione; farà quindi abbassare la temperatura.

Della Trasmissione del Calorico raggiante attraverso ai corpi diafani.

547. Quando i corpi che ricevono il calorico raggiante sono trasparenti, non tutta la quantità che in essi ne penetra viene arrestata ed assorbita, ma, come si è già detto, una parte passa innanzi liberamente senza perdere lo stato radiante. Interponendo fra i due specchii concavi dell' apparecchio menzionato al § 521 una lamina di vetro, una sottile lamina d' ac-

qua cadente (1), una sottil foglia di mica o di selenite, ec., si trova che questi lasciano ancora passare una quantità di calorico bastevole a riscaldare in modo sensibile la bolla del termoscopio collocata nel foco del secondo specchio. Nè è già questo un effetto di quella parte di calorico che trattenuta dalla lamina trasparente riscalda questa e quindi viene da essa irradiata verso il secondo specchio; giacchè in tal caso il fenomeno non avrebbe luogo attraverso alla lamina acquea; oltre a che i raggi calorifici divergendo allora secondo tutte le direzioni dai punti di quella faccia della lamina che guarda verso il secondo specchio, non andrebbero a concentrarsi nel foco di questo, come in vece essi fanno. Conviene ammettere assolutamente che ciò nasca da raggi calorifici i quali abbiano attraversato la lamina diafana conservando il loro stato radiante e la loro direzione, e i quali perciò dopo la seconda riflessione vadano a concentrarsi sulla bolla del termoscopio, come farebbero senza l'interposizione del *diaframma* trasparente. E questo succede sì allorquando il calorico viene emanato dai corpi luminosi, come allorquando esso è emesso dai corpi oscuri, benchè in questo secondo caso il fenomeno sia meno sensibile come or ora vedremo.

Su questa trasmissione del calorico sono state fatte diverse importanti osservazioni dal sig. De la Roche, il quale fra gli altri fatti ha dimostrato i seguenti (2):

1.° La quantità di calorico raggiante che attraversa una lamina di vetro è tanto più grande rispetto alla quantità totale che su di essa viene scagliata, quanto è più alta la temperatura del corpo riscaldato che la scaglia. Ella è insensibile quando questo è a temperatura molto bassa, cresce successivamente all'elevarsi

(1) Gerbi, *Fisica*, t. III, p. 110.
(2) Biot, *Traité de Phys.* t. IV, p. 638.

di questa temperatura, finchè il corpo si rende luminoso, ed anche dopo va crescendo a misura che la luce diviene più viva. Quando, p. e., il corpo raggiante è a +180°C. passa attraverso ad una lamina di vetro $^1/_{16}$ de' raggi incidenti; quando esso corpo è a +346° ne passa $^1/_{14}$; quando è a +427° ne passa $^1/_{7,5}$; quando è a +960°C. ne passa $^1/_{3,25}$; quando la sorgente calorifica è una viva lampada di Argand ne passano $^5/_9$.

2.° I raggi calorifici che hanno già attraversato una lamina trasparente, nell'attraversarne una seconda simile vengono diminuiti in una minor proporzione che quando sono passati dalla prima. Se a cagion d'esempio nel passare dalla prima lamina è stata trattenuta, in grazia della riflessione e dell'assorbimento, la metà de' raggi incidenti, dell'altra metà che arriva alla seconda lamina non ne vien trattenuto che il quarto o l'ottavo.

3.° La quantità del calorico raggiante che attraversa un corpo diafano è tanto più piccola, ad altre circostanze pari, quanto maggiore è la grossezza di questo.

Segue da questo e dal precedente fatto che quando un fascio di raggi calorifici deve attraversare un corpo diafano di grande estensione, qual sarebbe una gran massa d'acqua contenuta fra pareti che dal lato del corpo raggiante fossero diafane, concepito il cammino di questi raggi diviso in tanti tratti ugnali, viene in ciascuno di essi tratti assorbita una parte del calorico di que' raggi; però ne' primi tratti ne viene assorbita maggior copia, e meno gradatamente ne' successivi.

L'assorbimento di cui parliamo ha luogo probabilmente anche allorquando il mezzo diafano è l'aria, la quale perciò si riscalda verisimilmente anche per questa via, oltre al calorico ch'ella riceve pel contatto coi corpi riscaldati (Vedi § 504).

548. Si è cercato di riconoscere se i raggi calorifici nel penetrare entro ai corpi allo stato raggiante cangino la loro direzione come fa la luce, o come

suol dirsi soffrano rifrazione. Hanno alcuni tentato di concentrare il calorico raggiante oscuro con lenti convesso-convesse; ma inutilmente, forse per la loro troppa grossezza la quale ne impediva il passaggio: si sarebbe verisimilmente ottenuto qualche effetto facendo uso di vetri sottili, p. e. di sottili lenti a gradinate; perocchè è probabile che anche in questa circostanza il calorico si comporti allo stesso modo della luce.

Questi inutili tentativi di cui parliamo riguardano i raggi calorifici oscuri; degli sperimenti dello stesso genere fattisi sul calorico che accompagna la luce, ci riserbiamo a far parola nel Trattato della Luce.

Sarebbe anche da osservare se il calorico raggiante giugnendo alla superficie posteriore dei corpi diafani soffra ivi una nuova riflessione che il rimandi indietro, come avviene della luce.

Relazioni fra il Calorico raggiante e la Luce.

549. Fra il calorico raggiante e la luce noi abbiamo riscontrate poco sopra delle numerose analogie. Abbiamo veduto essere simile per l'uno e per l'altra il modo di propagarsi nello spazio, movendosi entrambi in linea retta, degradando ambedue di intensione in ragione reciproca de' quadrati delle distanze dal punto raggiante, facendo sì l'uno che l'altra quando sono riflettuti l'angolo di riflessione uguale a quello di incidenza. Molto simile inoltre abbiamo veduto essere la maniera con cui i corpi si prestano all'assorbimento e alla riflessione di questi due principii, avendo osservato che i corpi di superficie metallica liscia, i quali meglio degli altri riflettono la luce, sono quelli altresì che meglio riflettono il calorico raggiante, e che il vetro in vece, l'acqua, il nero di fumo, i quali riflettono pochissimo la prima, si comportano in tal modo anche col secondo.

Queste analogie, con alcune altre che avremo occasione di far notare più innanzi, aggiunte alla proprietà che i raggi solari non producono effetti calorifici se non allorquando diventano incapaci a produrre quelli proprii della luce (§ 397 e 402), danno un fortissimo peso all' opinione di coloro che riguardano questi due enti siccome di natura identica (*), e soltanto diversi per una leggiera ed accidentale modificazione che rende l'un d'essi, cioè la luce, più atto che non l'altro a ferire l'organo dell'occhio. E probabilmente (se m'è lecito trattenermi alcun poco anche sulle opinioni) la differenza non istà in altro che nella maggiore o minore facoltà di penetrare innanzi ne' corpi senza perdere lo stato raggiante, la quale facoltà sembra essere più grande nella luce che non nel calorico raggiante emanato dai corpi oscuri.

550. Che la luce sia più penetrabile che non il calorico raggiante, il possiamo fra gli altri fatti riconoscere da questo, che una grossa lamina di vetro impedisce quasi interamente il passaggio al calorico raggiante, assorbendo pressochè tutta quella porzione che vi passa entro e riducendola allo stato repente, laddove essa lamina si lascia attraversare liberamente dalla luce, senza assorbirne quantità sensibile, e tramandandola indebolita di quella parte soltanto che ella riflette indietro.

E questa diversa penetrabilità può spiegare felicemente molte altre differenze che si riscontrano nelle proprietà dei medesimi due principii. Ella può per esempio dar ragione perchè solamente la luce sia atta a produrre impressione sulla retina e non il calorico raggiante: noi possiamo in fatti attribuire questo fatto alla facoltà che ha essa luce di attraversare liberamente tutti i diversi umori dell'occhio, e di giungere

(*) Biot, *Traité de Phys.* t. IV, p. 641. — Thénard, *Chimie*, an. 1821, t. I, § 64.

sino alla retina; la qual cosa il calorico raggiante non può, venendo trattenuto e reso repente, appena ch'egli è arrivato sotto la più esteriore membrana.

551. Hannovi molti corpi, i quali riflettono in una maggior proporzione la luce che non il calorico raggiante. Un metallo lucente per esempio, coperto da una leggiera mano di colla animale perde quasi affatto la facoltà di riflettere il calorico raggiante, e conserva quella di riflettere di luce. Questo fatto però e gli altri somiglianti, i quali sembrano a primo tratto direttamente contrarii al principio che la luce sia più penetrabile del calorico raggiante, non ne sono, a guardar bene, che una necessaria conseguenza.

Nel metallo in fatti coperto di colla noi possiamo concepire che il calorico raggiante venga quasi interamente arrestato appena ch'egli è entrato nello strato della colla e prima che sia arrivato alla superficie metallica, e se una parte pur vi giunge e ne è riflettuta, questa sia anch'essa quasi in totalità trattenuta nel suo ripassare indietro per lo strato medesimo. Ora questa cosa non avviene della luce, potendo essa attraversare con facilità lo strato di colla e giungere quasi tutta alla superficie metallica, e potendo ripassare quasi tutta indietro quella parte che dalla riflessione del metallo viene rimandata.

La neve è attissima a riflettere la luce, ed appunto per questo ella è bianchissima; all'incontro ella ha pel calorico raggiante una debolissima facoltà riflettente (si è veduto infatti al § 526 che il ghiaccio ha una grande facoltà emittente). Nasce questa sua bianchezza dal venire per mezzo di molte successive riflessioni rimandata indietro una grande quantità di luce; una parte viene riflettuta alla anterior superficie della prima foglia di neve che viene incontrata dalla luce stessa, e questa parte torna tutta indietro; un'altra parte vien riflettuta alla superficie posteriore della medesima prima foglia, e questa quasi tutta ripassa

anch' esso nell'aria; un'altra parte di luce è riflettuta alla prima superficie di una seconda foglia di neve, e anche questa, attraversando la prima foglia, torna quasi tutta nell'aria, ec. E siccome nel passare che fa la luce da queste foglie non se ne consuma o assorbe che una piccolissima quantità, e tutte le foglie rimandano indietro l'una dopo l'altra una parte della quantità di luce che ad esse arriva, la quale quantità attraversando di nuovo le foglie precedenti esce in fine per molta parte all'aria libera, così ne succede che la somma dei raggi i quali tornano indietro nell'aria va gradatamente crescendo a proporzione che si fa maggiore il numero delle foglie a cui la luce giunge, e che alla fine questi raggi arrivano secondo Leslie a formare i cinque sesti della luce incidente, vale a dire poco meno della loro totalità (*).

Del calorico raggiante all'incontro, quantunque soffra anch'esso tutte queste riflessioni, non ripassa indietro nell'aria se non quasi quella sola quantità che vien riflettuta alla superficie anteriore della prima foglia di neve; il resto viene assorbito pressochè in totalità ne' diversi passaggi si mentre esso penetra innanzi che quando ritorna indietro. Donde succede che la neve ha molto minore attitudine a riflettere il calorico raggiante che non la luce.

Una simil cosa avviene della carta, della lana, del cotone, delle nubi, e in generale di tutti quei corpi formati di molte parti discontinue, ne' quali la luce non viene riflettuta che per assai poca parte alla prima superficie, ma il più lo è dopo essere entrata nel corpo, nei varii interrompimenti della continuità della materia.

552. Una siffatta differenza poi nella facoltà di attraversare i corpi non dimostra una assoluta diversità di natura fra la luce e il calorico raggiante, veggen-

(*) *Biblioth. Britannique, Sciences et Arts*, t. LVI, p. 11.

dosi dalle sperienze di De la Roche che anche il calorico oscuro può godere di diversi gradi di *trasmissibilità*, secondo ch' egli viene emanato da corpi più o meno riscaldati. Anzi la considerazione che il calorico tanto più facilmente viene trasmesso quanto più il corpo raggiante si avvicina a quello stato nel quale egli si rende luminoso, ci guida a riguardare la luce siccome il termine ultimo d'una serie di maniere di calorico raggiante dotate di penetrabilità successivamente maggiori. Nulla osta adunque che la luce e il calorico si possano ritenere siccome un ente medesimo, il quale pel variare di qualche non ancora ben nota circostanza possa talora godere di una debole facoltà di penetrare avanti ne' corpi e in tal caso costituisca il calorico raggiante oscuro, e talora possa essere molto più penetrabile e così esser la luce.

CAPO VI.

APPLICAZIONI DIVERSE DELLE DOTTRIN ESPOSTE NE' TRE CAPITOLI PRECEDENTI

Del raffreddamento dei corpi.

553. *Idee generali sul raffreddamento dei corpi dotati di somma conducibilità, isolati nell' aria tranquilla, e collocati in mezzo a' corpi di uniforme e costante temperatura.* Credeva Newton che la perdita di calorico che può fare un corpo in un dato tempo stando isolato nell' aria, sia nella esatta ragione diretta semplice dell' eccesso della sua temperatura superficiale sulla temperatura dell' aria e de' corpi circostanti, per modo che se all' eccesso 1 corrisponde la perdita 1, all' eccesso $1/2$ debba corrispondere la perdita $1/2$, all' eccesso $1/4$ la perdita $1/4$, ec.; e in conseguenza, supponendo tacitamente di parlare di corpi dotati di

somma conducibilità e che si vadano raffreddando di pari passo in tutte le loro parti sì superficiali che interne, egli stimava che posto a raffreddare un qualche corpo, esso debba impiegare lo stesso tempo a raffreddarsi, p. e., dall'eccesso di 32°C. sulla temperatura de' corpi circonvicini sino all'eccesso di 16°, come a raffreddarsi dall'eccesso di 16° a quella di 8°, come da quello di 8° a quello di 4°, ec.; e in generale che aumentandosi in progressione aritmetica il tempo trascorso dal principio del raffreddamento, diminuisca secondo una progressione geometrica decrescente la differenza di temperatura fra il corpo posto a raffreddare e i corpi circostanti.

Questa opinione si tenne lungo tempo per vera, e venne fatta servir di base a molti calcoli. Posteriormente però fu riconosciuta inesatta da diversi autori, fra gli altri dal sig. De la Roche, i quali ritrovarono che alle temperature elevate i corpi si raffreddano più presto di quello che una tal legge porterebbe; e le recenti sperienze di Petit e Dulong da noi superiormente citate confermano pienamente questa osservazione. Si ammette adunque presentemente che le quantità di calorico che possono venir perdute da un corpo posto nelle condizioni summenzionate stiano fra loro in una maggior ragione che non istanno gli eccessi della sua temperatura su quella dell'ambiente, talchè se all'eccesso 1 corrisponde la perdita 1, all'eccesso $1/2$ corrisponda, p. e. la perdita $1/2,2$, all'eccesso $1/4$ la perdita $1/4,8$, ec.; e che perciò lasciando raffreddare un corpo che sia ottimo conduttore, e tenendo conto del tempo ch'esso impiega a passare, p. e., dall'eccesso di 32°C. all'eccesso di soli 16°, dall'eccesso di 16°, a quello di 8°, ecc., tali tempi non sieno fra loro uguali, ma vadano gradatamente crescendo l'uno dopo l'altro. Ecco per maggiore chiarezza i risultamenti di tre sperienze da me eseguite. Avendo fatta riscaldare la bolla di un termometro a mercurio del

diametro di 16 millimetri, e quindi avendola posta a raffreddare entro un vaso profondo di legno aperto verso l'alto, notai gli intervalli di tempo trascorsi nel passare dall'uno all'altro degli eccessi di 20°; 10°; 5°; 2°,5; 1°,25 a scala di Réaumur sopra la temperatura dei corpi circostanti, essendo la temperatura dell'aria, presa la media fra le tre sperienze, di +19°,47 R., e trovai che questi intervalli erano i seguenti

Eccessi di temperatura in gradi di Réaumur.	Tempi del raffreddamento in minuti primi.			Medie di questi tempi.
20°	3′,8	3′,9	4′,0	3′,9
10°	4′,2	4′,1	4′,5	2′,27
5°	4′,8	4′,7	4′,5	4′,67
2°,5	5′,0	3′,3	5′,3	5′,2
1°,25				

554. La ragione di ciò non è difficile a concepirsi. Segue infatti dalle cose già dette che il raffreddamento di un corpo posto nelle condizioni considerate nasce dall'azione combinata di due cause, l'irradiazione cioè e il contatto dell'aria; e queste, dentro tempi eguali, levano al corpo sì l'una che l'altra delle quantità di calorico che hanno fra loro una maggior ragione che non gli eccessi di temperatura. E nel vero se si chiama

t l'eccesso di temperatura espresso in gradi centigradi,

M un coefficiente costante,

la velocità con cui il corpo perde calorico in forza dell'irradiazione corrispondentemente all'eccesso t di temperatura, è misurata (§ 533) da

$$M\left(1{,}0077^{t} - 1\right)$$

ossia da

$$M\left\{0{,}00767.t + \frac{1}{2}(0{,}00767).^{2}t^{2} + \frac{1}{2.3}(0{,}00767).^{3}t^{3} + \text{ec.}\right\}$$

la quale quantità varia evidentemente secondo una ragione

più rapida che non fa la t. Per un esempio dando a t i tre valori

$$10\ ,\ 20\ ,\ 30$$

si hanno rispettivamente per la quantità

$$1{,}0077^{t} - 1$$

i valori

$$0{,}0798;\ 0{,}1659;\ 0{,}2589$$

i quali stanno fra loro nella ragione de' numeri

$$10;\ 20{,}79;\ 32{,}44$$

Lo stesso è della velocità del raffreddamento in grazia del contatto dell' aria, come immediatamente si riconosce dal vedere ch' ella è misurata da

$$V.\ t^{1{,}233}$$

dove V è un coefficiente costante (§ 508).

Di qui è che considerando due eccessi di temperatura l' uno grande, p. e., come 1, l'altro grande come 3, le due separate velocità di raffreddamento corrispondenti all' eccesso 3, sono più che triple delle velocità analoghe corrispondenti all'eccesso 1, e la somma di quelle supera anch'essa il triplo della somma di queste.

Quando però gli eccessi di temperatura sono assai piccoli, l'effetto dell'irradiazione divien prevalente (§ 532); e siccome questa toglie allora calorico al corpo quasi nella precisa ragione di cotali eccessi, così ne succede che a questi eccessi di temperatura molto piccoli, la legge di Newton può aversi come sufficientemente esatta.

555. *Delle circostanze che influiscono sul raffreddamento dei corpi.* Quello che or ora abbiamo detto riguarda la legge del raffreddamento considerata in generale per un corpo qualunque che sia ottimo conduttore e che si trovi collocato nell'aria tranquilla in mezzo ad altri corpi di uniforme e costante temperatura. Qual sia però la legge particolare che ha luogo nei diversi casi speciali, è cosa molto ardua a determinarsi, dipendendo da molte circostanze d' alcune delle quali non si sa ancora quanta sia l'influenza (§ 510). Più difficile ancora riesce la questione, allorquando si brama conoscere la legge del

raffreddamento di un corpo, il quale non si trovi nelle circostanze superiormente accennate, il quale cioè non sia ottimo conduttore del calorico, non si trovi in mezzo all' aria tranquilla, ec.; perocchè s'aggiungono allora altre circostanze di cui è difficilissimo il valutare l' effetto.

In generale le circostanze che hanno parte nel raffreddamento dei corpi sono le seguenti:

a) la capacità pel calorico del corpo che si raffredda,

b) la sua grandezza e figura,

c) la sua facoltà conduttrice,

d) la sua facoltà emittente,

e) la densità, la temperatura e i movimenti dell'aria ambiente,

f) la temperatura e la disposizione dei corpi circostanti, sì di quelli che si trovano in contatto, come di quelli situati in distanza.

Nei paragrafi seguenti noi faremo qualche cenno dell'influenza di ciascuna di esse, limitandoci però alle nozioni più semplici e più superficiali.

556. *Influenza della Capacità pel Calorico.* Supponiamo che si abbiano parecchi corpi dotati tutti di una facoltà conduttrice sì perfetta, che mentre uno qualsivoglia di essi si raffredda, il raffreddamento proceda di pari passo in tutta la sua massa, avvenga cioè che dopo perduta in alcuna parte una qualche quantità di calorico, la quantità residua torni immediatamente a distribuirsi in modo equabile per tutta la massa, e in cotal guisa la temperatura, in tanto che si abbassa, si mantenga uniforme in tutti i punti. Questa supposizione non può a tutto rigore verificarsi giammai, stantechè durante il raffreddamento le parti più superficiali de' corpi sono sempre un po' più fredde delle centrali; nulladimeno se i corpi sono metallici e di piccola mole, ovvero s'essi sono delle masse liquide contenute in piccoli vasi di pareti sottili, e se nello

stesso tempo il raffreddamento loro è lento, essa supposizione s'avvicina moltissimo al vero, di maniera che per tali corpi ha luogo quasi esattamente quanto siamo per dire.

Supponiamo inoltre che questi corpi abbiano tutti lo stesso volume, la stessa figura, la stessa facoltà emittente; però differiscano nella natura chimica o in altre qualità, talchè abbiano una diversa capacità *totale* pel calorico.

Se tutti questi corpi, dopo essere stati scaldati ad un medesimo grado verranno posti a raffreddare in luoghi ove la temperatura e tutte le altre circostanze siano affatto simili, *i tempi ch'essi impiegheranno per raffreddarsi d'uno stesso numero di gradi saranno proporzionali alle loro capacità* totali *pel calorico.*

Per vedere la verità di questa proposizione, consideriamo il caso particolare di due corpi, i quali essendo dello stesso volume, della stessa figura esterna, ec., ed avendo le capacità pel calorico come 1 a 4, vengano posti a raffreddare l'un prima e l'altro dopo in un luogo ove la temperatura dell'aria e de' corpi circostanti sia quella di 0° C.; e cerchiamo di trovare in qual proporzione staranno i tempi ch'essi impiegheranno a raffreddarsi da +10° C. a +5° C.

Confrontando primieramente i tempi impiegati da essi due corpi nel passare da +10° C. a +9°,9 C., noi veggiamo che essendo uguali le temperature dell'uno e dell'altro, e perciò uguali le perdite di calorico che dovrebbero fare in eguali tempi, quello di essi che avrà quadrupla capacità pel calorico, e che per conseguenza dovrà perdere una quadrupla quantità di calorico in paragone dell'altro per discendere di quel decimo di grado, dovrà impiegare a ciò una quantità di tempo quadrupla. Dovranno similmente essere nella ragione di 4 ad 1 gli spazii di tempo impiegati dal corpo più capace pel calorico e dal corpo meno capace per discendere da +9°,9 C. a +9°,8 C.; e nella

stessa proporzione dovranno pur essere i tempi impiegati nel discendere da $+9°,8$ C. a $+9°,7$ C., quelli impiegati nel passare da $+9°,7$ C. a $+9°,6$ C.; e così successivamente fino a $+5°$ C. Sommando adunque tutti i tempi impiegati dal corpo più capace nel raffreddarsi de' varii consecutivi decimi di grado, e tutti quelli impiegati dal corpo meno capace, sarà la somma dei primi quadrupla di quella de' secondi; e perciò i tempi impiegati dai due corpi nel raffreddarsi da $+10°$ C. a $+5°$ C. staranno nella ragione diretta semplice delle rispettive capacità totali pel calorico.

Quello che abbiamo detto per questo caso particolare possiamo evidentemente ripeterlo per qualunque altro caso, ove le capacità totali abbiano un'altra proporzione, ove la temperatura dell'aria e quella de' corpi circostanti sia diversa da quella considerata poc'anzi, ove pur anche i corpi circostanti e l'aria si trovino fra loro a temperature differenti, e dove in fine i gradi del raffreddamento che si vuol considerare siano diversi da quelli assunti precedentemente. La proposizione perciò che i *tempi impiegati da più corpi nel raffreddarsi d'uno stesso numero di gradi sono proporzionali alle rispettive capacità* totali *pel calorico*, vale generalmente per tutti que' corpi i quali essendo dotati di ottima conducibilità, ed essendo simili in tutto fra loro salvo che nelle capacità pel calorico, vengono lasciati raffreddare in circostanze affatto simili.

557. Ammettendo che questa legge valga con sufficiente esattezza pei pezzi metallici di piccola mole, il Despretz ne ha tratto partito per determinare le capacità pel calorico di varii metalli. Ne faceva egli tante piccole uguali sfere, le ricopriva d'una medesima vernice nera, perchè avessero tutte la medesima facoltà emittente, e le lasciava raffreddare isolate nell'aria con un termometro che scendeva colla bolla fino al loro centro; e quindi da' tempi che impiegavano a raffreddarsi d'un determinato numero di gradi dedu-

ceva i rapporti delle loro capacità pel calorico (*). Però questo metodo era già stato adoperato precedentemente da Mayer e da Leslie; e dopo il Despretz venne ridotto a maggiore perfezione da Petit e Dulong, ed è il metodo del *Raffreddamento* già da noi accennato al § 440.

Una tale proporzionalità fra i tempi del raffreddamento e le capacità pel calorico vale, come si è già detto, anche per le masse liquide, purchè non sieno molto grandi e perdano più abbondantemente il calorico dalla parte superiore; perocchè si è riconosciuto che in grazia del moto idrostatico la temperatura si abbassa uniformemente in tutte le parti della loro massa (§ 496). Il metodo del raffreddamento può perciò servire anche per misurare le capacità specifiche dei liquidi, e noi abbiamo già esposto in qual modo si debba procedere (§ 440).

Appare di qui la ragione perchè a pari grandezza delle bolle i termometri a mercurio siano più pronti di quelli ad alcool nell'indicare la temperatura di un luogo nel quale si trovino isolati in mezzo all'aria. È questa una conseguenza della maggiore capacità pel calorico che l'alcool possiede a paragone del mercurio in parità di volume (§ 434); nè vi hanno parte sensibile altre cause, quali potrebbero essere la diversa conducibilità e la diversa facilità ai moti idrostatici, stantechè, essendo lento il raffreddamento, la temperatura s'abbassa contemporaneamente, in un modo quasi uniforme, per tutta la massa di ciascuno de' due liquidi. Ne segue che a parità di bolle, i tempi impiegati dalle due sorte di strumenti a raffreddarsi nell'aria d'uno stesso numero di gradi sono nella ragione delle rispettive capacità pel calorico in pari volume, vale a dire circa :: 4 : 5 se l'alcool è assai ret-

(*) *Annales de Chimie et de Physique*, t. VI, p. 184.

tificato, e in ragione maggiore cioè di 4 a 6, di 4 a 7, ec., se l'alcool è allungato con acqua.

558. Se le masse metalliche poste a raffreddare nell'aria sono molto grandi, ovvero se, anche essendo piccole, sono tenute in immediato contatto con corpi molto conduttori del calorico, in questo caso si raffreddano notabilmente più presto le loro parti esterne che le interne, e perciò, non mantenendosi qui l'uniformità delle temperature, i tempi del raffreddamento non mostrano la proporzionalità suddetta, e tanto più pare che se ne debbano allontanare quanto più è debole la facoltà conduttrice delle suddette masse metalliche, e quanto più esse sono grandi.

Dicasi lo stesso delle masse liquide contenute in recipienti assai ampii (§ 496); ed anche di quelle contenute in vasi piccoli quando il loro raffreddamento sia celere, p. e. quando questo avvenga per l'immersione entro liquidi più freddi. Per un esempio possiamo richiamare quello che abbiamo già veduto più sopra al § 501, cioè che la lentezza *mostrata* dai termometri ad alcool in confronto di quelli a mercurio, nel mutare di temperatura allorchè sono immersi ne' liquidi, è maggiore di quello che verrebbe portato dalla differenza delle capacità pel calorico, e ciò per essere più lento l'alcool nel dare e nel togliere calorico.

559. *Influenza della grandezza de' corpi che si raffreddano.* Supponiamo che si abbiano parecchi corpi, tutti ottimi conduttori del calorico, tutti di simil natura, di simile figura, e similmente disposti, e soltanto diversi nella grandezza. È facile lo scorgere che se il contatto dell'aria togliesse loro a pari temperature e in eguali tempi delle quantità di calorico proporzionali alle superficie, come appunto fa l'irradiazione, in tal caso i tempi ch'essi impiegherebbero a raffreddarsi d'uno stesso numero di gradi, partendo da una temperatura medesima, sarebbero esattamente nella

ragione diretta semplice de' diametri o delle omologhe dimensioni. Perciocchè avendosene per esempio due i cui diametri fossero come 1 e 3, le loro masse come pure le quantità di calorico ch'essi dovrebbero perdere per raffreddarsi di una medesima piccola frazione di grado, e. g., da +10° C. a +9°,9 C., sarebbero rispettivamente come 1 e 27, e le loro superficie, dalle quali dovrebbero aver luogo le perdite, starebbero fra loro come 1 a 9; quindi i tempi impiegati nel raffreddarsi di quella piccola frazione di grado dovrebbero stare come 1 a $^{27}/_{9}$, ossia come 1 a 3; e lo stesso sarebbe de' tempi corrispondenti a un' altra qualsivoglia piccola frazione di grado, e quindi anche de' totali tempi impiegati a discendere da qualsivoglia data temperatura a qualsivoglia altra.

Le sperienze però, alle quali sole conviene attenerci su questo riguardo, conducono a risultamenti alquanto diversi. Esse mostrano, parlando di corpi tenuti nell' aria tranquilla, che i tempi del raffreddamento stanno fra loro in una maggior ragione che i diametri de' corpi. Avendo io calcolato il tempo che dovette venire impiegato dal grosso termometro del diametro di sei centimetri usato dai sigg. Petit e Dulong, per raffreddarsi da un eccesso di 40° C. sopra la temperatura dell' inviluppo fino all' eccesso di soli 20° C., essendo esso termometro a bolla nuda, trovandosi l' inviluppo a +20° C., ed essendo l' aria della forza espansiva di 72 centimetri di mercurio, ho trovato che questo tempo dovette essere di circa 18 minuti primi e un terzo. D' altra parte ho provato a lasciar raffreddare un termometro a mercurio colla bolla del diametro di 7 millimetri, ponendolo in un largo recipiente chiuso perchè l'aria fosse tranquilla, mentre il barometro indicava una pressione di circa 756 millimetri di mercurio, e la temperatura era di +24° C.; e mi è risultato, che per discendere dall' eccesso di 40° C. sopra la temperatura del vaso fino all' eccesso di soli

20°C. egli impiegò il tempo di 1'.12". A dir vero l'aria era un po' più densa e un po' più calda di quella ove avevano sperimentato i due Fisici francesi, ma in grazia di queste circostanze io stimo che il raffreddamento del mio termometrino sia stato accelerato di soli 2" o 3"; per cui io giudico che in circostanze simili, riguardo all'aria, di quelle del termometro a grossa bolla, io avrei ottenuto 1'. 15". Essendo pertanto i diametri come 60 e 7, i tempi sono nella ragione molto più grande di 18 1/3 a 1 1/4 ossia di 60 a 4,091. E possiamo notare che i due termometri si possono ben riguardare come due corpi di simil natura; perocchè il vetro e il mercurio a parità di volume hanno la medesima capacità pel calorico, epperò le due bolle si possono considerare come formate di solo mercurio.

Avendosi adunque più corpi di diversa grandezza, ma di simile forma e della stessa natura e posti in circostanze somiglianti, e considerando le quantità totali di calorico che essi perdono ad ogni istante allorchè vengono lasciati raffreddare nell'aria tranquilla, si trova che ne' più grandi queste quantità sono minori di quello che porterebbe la proporzione delle superficie, e ne' più piccoli in vece sono maggiori di quello che verrebbe dato dalla proporzione medesima.

E siccome la cagione di questo non può essere che la diversa efficacia del contatto dell'aria per sottrarre calorico ai corpi secondo che questi sono più grandi o più piccoli, non potendo a ciò cooperare l'effetto dell'irradiazione, così possiamo eziandio conchiudere che la quantità di calorico sottratta ai corpi dal contatto dell'aria, col diminuire della estensione superficiale di essi corpi, non diminuisce nella medesima ragione di cotale estensione superficiale, ma in una ragione minore, come abbiamo già annunciato al §510; e che per conseguenza questa quantità di calorico è tanto più grande, rispetto a quella perduta per l'irradiazione, quanto più sono piccoli i corpi medesimi.

Nel citato raffreddamento della bolla del diametro di 6 centimetri dalla differenza di 40° C. sopra la temperatura dell' ambiente sino alla differenza di soli 20° C. l'effetto dell' irradiazione era a quello del contatto dell' aria come 125 a 107 ossia come 1 a 0,856 (l'efficacia dell' irradiazione corrispondente alle differenze di +40° C., e di 20° C., essendo l'ambiente a +20 C., era rispettivamente espressa da 0,86 e da 0,39, e perciò il suo valor medio poteva esprimersi col numero $\frac{1,25}{2}$; e l'efficacia del contatto dell' aria corrispondentemente alle medesime temperature era espressa da 0,75 e da 0,32, rispettivamente, per cui il suo valor medio poteva esprimersi col numero $\frac{1,07}{2}$; veggasi al § 531). Rappresentiamo per un momento co' due suddetti numeri 1 e 0,856 l'attività delle menzionate due cause nella sperienza citata, e indichiamo col numero 1,856 l'attività della loro azione combinata. Siccome la bolla del diametro di 7 millimetri, ridotta alle medesime circostanze della grossa bolla or ora considerata, si raffredda assai più presto di quello che sarebbe portato dalla attività 1,856, cioè in un tempo più breve nel rapporto di 4,091 a 7, così l'efficacia delle due cause combinate dovrà per questa piccola bolla essere espressa da $\frac{7 \cdot 1,856}{4,091}$ ossia da 3,18; ed essendo l'efficacia della sola irradiazione espressa da 1 anche per questa piccola bolla, dovrà quella del solo contatto dell' aria essere misurata da 2,18. Al diminuirsi pertanto del diametro di una bolla termometrica nella ragione di 60 a 7, l'azione del contatto dell' aria per sottrarre calorico cresce come 0,856 a 2,18, sempre ben inteso che quest' aria sia tranquilla ossia non mossa che del semplice moto idrostatico, ch'ella sia soggetta alla pressione di $0^m,72$, e che ne venga considerata la media azione raffreddante dalla differenza di 40° C. sopra la temperatura dell' ambiente sino alla differenza di 20° C.

Avvertiremo che non sapendo se la bolla termometrica usata da Petit e Dulong fosse esattamente del diametro di 6 centimetri ovvero ne differisse di qualche millimetro, noi non possiamo dare come sicuri i due numeri 3,18 e 2,18 che abbiamo precedentemente trovati; e sarebbe possibile ch'essi

dovessero modificarsi di uno o di due decimi d'unità o in più o in meno. Ad onta però di questa incertezza non lasciano d'essere sicure le conseguenze generali, e plausibilmente approssimate queste determinazioni numeriche.

560. Ha luogo una legge somigliante anche rispetto ai corpi che si trovano esposti all'aria di una camera, leggiermente agitata come suol essere. In tale circostanza l'effetto del contatto dell'aria, sì ne' piccoli corpi che ne' grandi, è maggiore che quando essa aria è tranquilla; ma ne' piccoli corpi ella è ancora, avuto riguardo alla loro minor superficie, più efficace che ne' grandi; di maniera che i tempi del raffreddamento, essendo questi corpi di simil forma e della medesima natura, stanno fra loro in una ragione maggiore di quella de' diametri. Un risultamento di questo genere era già stato ottenuto dal sig. Despretz in una sperienza da lui fatta con due palle di zinco, ridotte ad avere la medesima facoltà emittente per mezzo della sovrapposizione di alcuni strati di vernice nera. Recate queste ad una medesima temperatura più elevata di quella dell'aria circostante, e tenute appese a fili di seta in mezzo ad una vasta camera, ei le lasciava raffreddare entrambe di un medesimo numero di gradi, e misurava con diligenza i tempi impiegati nel raffreddamento. I diametri di esse bolle erano l'uno di $0^m,0666$, e l'altro di $0^m,0932$, cioè nella ragione di 1 a 1,399; e i tempi del raffreddamento furono nella ragione di . . . . . 1 a 1,480 (*).

Avendo io lasciato raffreddare a questa maniera, cioè all'aria libera di una camera, il termometrino precedentemente menzionato colla bolla del diametro di 7 millimetri, dalla differenza di 40° C. sopra la temperatura della camera sino alla differenza di soli 20° C., essendo essa camera a + 24° C., il tempo impiegato fu per due volte consecutive di 1'. 0". E in un altro

(*) *Annales de Chimie et de Physique*, t. VI, p. 189.

termometro a mercurio che aveva la bolla del diametro di 13 millimetri, il risultamento medio di due sperienze fatte qualche mese prima si fu che il tempo impiegato per un simile raffreddamento, cioè dalla differenza di 40° C. sino a quella di 20° C., essendo però l'ambiente a + 12°,6 C., riuscì di 2′. 32″. Riducendo adunque il tempo impiegato dal primo di questi strumenti a 1′. 2″, affine di porlo in circostanze simili a quelle del secondo il quale venne cimentato ad una temperatura più bassa, noi abbiamo i diametri delle bolle nella ragione di . . . . . 1 a 1,857, e i tempi nella ragione di . . . . . 1 a 2,45. Le pressioni indicate dal barometro erano in ambedue le sperienze da 754 a 755 millimetri.

Quando si voglia calcolare l'attività dell'azione combinata dell'irradiazione e del contatto dell'aria nella prova del termometro minore, prendendo il tempo effettivamente impiegato di 1′, e senza fare la accennata riduzione, convien riflettere che questo tempo sta al tempo impiegato in un raffreddamento somigliante (cioè dalla differenza di 40° C. sino a quella di 20° C.) nelle sperienze di Dulong e Petit mentre l'ambiente era a + 20° C., nella ragione di 1′ a 18′ 1/3, ossia in quella di 3,27 a 60. Ora i due tempi avrebbero dovuto essere nella ragione di 7 a 60, se l'efficacia delle due cause suddette prese insieme fosse stata la stessa in ambi i casi. Dovette adunque l'efficacia di queste due combinate cause sul termometrino essere più grande che sul grosso termometro nella ragione di 7 a 3,27; e perciò se la seconda si esprime col numero 1,856, la prima doveva essere espressa dal numero 3,97. Siccome poi l'effetto della sola irradiazione avrebbe dovuto esprimersi col numero 1,03 (corrispondentemente alla temperatura + 24° C.), così l'effetto del solo contatto dell'aria doveva essere rappresentato da 2,94.

Calcolando in simile maniera l'efficacia dell'azione combinata delle due cause medesime nelle sperienze sul termometro che aveva la bolla del diametro di 13 millimetri, si trova ch'ella avrebbe dovuto essere espressa da 2,94; e levando 0,94 per l'irradiazione (corrispondentemente alla tem-

peratura di +12°,6 C.), si ha 2,00 per l'effetto del solo contatto dell'aria. Nel passare adunque da un termometro colla bolla del diametro di 13 millimetri ad uno colla bolla del diametro di soli 7 millimetri, essendo la pressione di circa 755 millimetri di mercurio, l'azione dell'aria leggiermente agitata di una camera, per raffreddare questi termometri da una differenza di 40° C. sopra la temperatura dell'ambiente sino ad una differenza di 20° C. crebbe di attività prossimamente nella ragione di 2 a 2,94.

Quando i movimenti che ha l'aria indipendentemente da' moti idrostatici sono leggieri, ella è cosa ben chiara che l'attitudine del contatto di essa aria per togliere calorico, debba, allo stesso modo che quando l'aria è tranquilla, essere maggiore ne' piccoli corpi che nei grandi. Questi leggieri movimenti non possono in fatti aumentare gran cosa l'azione che ha l'aria quando è tranquilla, nè possono alterare gran fatto la legge di questa azione. Ed anche nell'aria fortemente agitata è facile il vedere che dee aver luogo una legge somigliante. Perciocchè allorquando un piccolo corpo caldo si trova esposto ad una veloce corrente aerea, l'aria che vi passa vicino gli sta poco tempo in contatto e poco si può scaldare, talchè la superficie del corpo si trova del continuo in contatto di aria frequentemente rinnovata e poco calda. All'incontro quando alla corrente aerea sta esposto un corpo di superficie alquanto estesa, l'aria che gli passa dappresso gli rimane a contatto più lungo tempo, e supposta pari la temperatura de' due corpi, vi si scalda maggiormente, e così il corpo si trova continuamente a contatto di aria alquanto più calda, e meno atta a togliere calorico. Poste pari per tanto le temperature de' due corpi, l'effetto della corrente aerea deve essere più efficace sul piccolo corpo che sul grande. . . .

Converrebbe fare delle altre sperienze su questo particolare: intanto dai risultamenti or ora esposti noi possiamo ricavare l'utile conseguenza, che per ottenere più esattamente la temperatura dell'aria cioè meno alterata dall'irradiazione de' corpi circostanti, giova far uso di termometri a bolla piccola: non solamente si ha in questi il vantaggio d'una maggiore

prontezza nelle indicazioni; ma inoltre, l'azione del contatto dell'aria prevale in essi in un maggior grado a quella dell'irradiazione. Meglio ancora poi sarà se oltre all'essere piccola la bolla, sarà questa rivestita d'una foglia metallica lucente che ne rimandi indietro il calorico raggiante; la maggiore esattezza che si otterrà con questa pratica ben compenserà quel poco più di tempo che il termometro dovrà impiegare per ridursi stazionario.

561. *Influenza della figura e delle rimanenti circostanze.* Avendosi più corpi della stessa natura, della stessa massa, ma foggiati diversamente, in guisa che abbiano una diversa estensione superficiale, il raffreddamento loro è in generale tanto più pronto quanto più la superficie è estesa. Però influisce anche la qualità della figura, indipendentemente dalla estensione superficiale; p. e. un corpo inferiormente concavo è men pronto a raffreddarsi, a parità delle altre circostanze che se è inferiormente convesso. Ed oltre alla figura può altresì aver parte nel fenomeno la posizione del corpo, come già si disse al § 510.

Che poi la maggiore conducibilità e la maggiore facoltà emittente rendano più pronto il raffreddamento è cosa evidentissima.

Riguardo alla influenza in fine che hanno nel raffreddamento di un corpo la densità, la temperatura, e l'agitazione dell'aria ambiente, come pure le diverse particolarità de' corpi circostanti, basterà quanto abbiamo già detto altrove.

562. *Modi per accelerare il raffreddamento de' corpi.* Possono a quest'uopo servire i modi seguenti:

1.° Agitare il corpo nell'aria. Ciò è quello che in alcuni casi si pratica co' termometri affinchè presto ne piglino la temperatura: col semplice moto della mano il raffreddamento di questi strumenti si può rendere tre ed anche quattro volte più pronto.

2.° Immergerlo in un liquido freddo. Così si fa nel

temperare l'acciajo e nel formare le lagrime bataviche. Questo mezzo è assai più pronto di quello del movimento dell'aria, specialmente se il corpo si agiti nel liquido e se questo sia buon conduttore.

3.° Aspergere il corpo di un liquido evaporabile, qual sarebbe acqua o spirito di vino.

4.° Tenerlo in contatto di corpi che sieno buoni conduttori e di molta massa.

5.° Fare che il corpo, ne' casi in cui si può, spieghi all'aria un'ampia superficie. I termometri a bolla cilindrica hanno appunto il vantaggio che a pari massa del liquido contenuto presentano all'aria una superficie maggiore che quelli a bolla sferica.

563. *Modi per ritardare il raffreddamento.* Occorre molte volte il bisogno di conservare ad un corpo il calorico ch'esso possiede. Ora ciò può ottenersi con queste altre pratiche:

1.° Rivestendo il corpo di sostanze poco conduttrici. Così ha fatto la natura colla maggior parte degli animali. Così facciamo noi coi nostri corpi coprendoli di abiti. A questo modo si opera in alcune manifatture, quando si conservano caldi de' liquidi col cingere i vasi che li contengono di uno strato di polvere di carbone.

2.° Sovrapponendo ai corpi che si vogliono tener caldi delle campane le quali li difendano dalle agitazioni dell'aria esteriore e impediscano la salita e il rinnovamento dell'aria che si riscalda pel loro contatto.

Il calorico si conserverà molto più a lungo, se si useranno più campane l'una sopra l'altra alla distanza di qualche centimetro, dotate di poca capacità pel calorico e di molta facoltà riflettente, e se si impediranno i movimenti dell'aria frapposta fra l'una campana e l'altra per mezzo di alcuni fili di paglia o di altra materia filamentosa (*). Secondo Leslie, aggiun-

(*) Pouillet, *Elémens de Physique*, t. I, p. 368.

gendo successivamente sopra il corpo parecchi inviluppi concentrici di latta posti alla distanza di un pollice l'uno dall'altro, il tempo impiegato nel raffreddamento cresce secondo la progressione de' numeri dispari; un solo inviluppo rende il raffreddamento tre volte più lento, due inviluppi il rendono cinque volte più lento, e così di seguito (1). In questo caso converrà difendere il corpo anche inferiormente per mezzo di corpi poco conduttori del calorico.

3.° Diminuendo la facoltà emittente della superficie col ricoprirla di qualche lucente foglia metallica.

4.° Rarefacendo l'aria d'intorno. Così operarono Petit e Dulong nelle esperienze citate al § 440.

Del riscaldamento dei corpi.

564. *Mezzi di riscaldamento.* Noi ne abbiamo già parlato in più luoghi, specialmente nel Capitolo delle sorgenti del Calorico; qui ci contenteremo di richiamare alla memoria i più efficaci e più usitati, i quali sono:

1.° L'esposizione ai raggi solari o liberi o concentrati;

2.° L'azione del fuoco, resa più attiva, se occorre, co' fornelli, col più abbondante afflusso dell'aria, coll'uso dell'ossigeno, con quello del gas tonante.

3.° Il passaggio dell'aria riscaldata. Si suole molte volte aumentare l'effetto delle stufe facendo che il fumo, prima che esca nell'atmosfera, giri per entro a lunghe canne metalliche collocate nelle camere da riscaldarsi.

4.° L'introduzione dell'aria riscaldata. Si possono scaldare le camere col farvi entrare dell'aria stata scaldata esternamente per mezzo di adattati apparecchi. Tale si è l'uso delle stufe dette alla *Meissner* (2),

(1) *Bibl. Britan. Sciences et Arts*, t. LV, p. 281.

(2) Se ne può vedere la descrizione fatta stampare dal dottor Antonio Cattaneo. Milano, 1830, co' tipi del Rusconi.

quello del Calorifero di Desarnod, ec. (1). Con questo metodo di riscaldamento si ha anche il vantaggio del rinnovamento dell'aria.

5.° La condensazione del vapore acqueo (§ 466).

6.° La circolazione dell'acqua riscaldata (§ 492).

565. *Leggi del riscaldamento.* Dopo le cose già dette è facilissimo a vedersi:

1.° Che un corpo esposto ad una costante sorgente di calorico, tanto più presto si riscalda quanto minori sono la sua massa e la sua capacità specifica.

2.° Che il riscaldamento è tanto più pronto quanto più ampia è la superficie esposta all'azione del calore. Di qui è che le caldaje ove si fa vaporizzare l'acqua si procura che sieno investite dal fuoco tutto all'intorno, e attraverso ad esse si fanno passare dei tubi ne' quali possano entrare e circolare le fiamme e l'aria riscaldata. Un fuoco ordinario applicato ad una comune caldaja di rame si calcola che possa comunicare per ogni ora d'azione e per ogni decimetro quadrato di superficie tanto calorico da vaporizzare quattro o cinque decilitri di acqua. Accrescendone l'intensione si stima ch'esso possa arrivare a vaporizzarne un litro per ora (2).

Accostando un sottil filo di vetro alla fiamma di una candela, l'estremità di esso allorquando è arrivata a quella leggiera e quasi invisibile fiammella che cinge all'intorno la vera fiamma, immediatamente si fonde; la qual cosa non si osserva punto in un cilindro alquanto grosso, p. e. del diametro di una linea. Ciò avviene a cagione della molta superficie che il sottil filo presenta alla fiamma in proporzione della sua piccola massa, e dal non avere esso, in grazia della sua sottigliezza, una pari attitudine a trasmettere per conducibilità il molto calorico ricevuto. Se si prenderà un cilindretto alquanto grosso di questa sostanza, e

(1) Péclet, *Traité de la Chaleur.*, t. II, p. 433 e seg.
(2) Pouillet, *Élémens de Physique*, t. I, p. 357.

un tal numero di fili che fra tutti lo uguaglino nella sezione trasversale, e si esporrà alla medesima fiamma prima il cilindro e poi i fili, i secondi saranno molto più atti del primo, per ricevere il calorico, ma per trasmetterlo alle parti più lontane dalla fiamma non avranno che una attitudine uguale; e perciò i fili alle estremità vicine alla fiamma si scalderanno maggiormente. Ben è vero che nelle parti lontane dalla fiamma essi sono più atti che non il cilindro a comunicare il calorico all'aria contigua; ma questa circostanza non vale a distruggere l'effetto della causa che ne favorisce il riscaldamento presso la fiamma. In generale un cilindro che con una parte della sua lunghezza si trovi in un mezzo d'una data temperatura e con l'altra parte in un altro mezzo di temperatura diversa, s'accosterà tanto più, dopo una sufficiente dimora ad avere in queste due parti le temperature de' corrispondenti mezzi, quanto più esso a pari lunghezza sarà sottile, e tanto più in vece s'accosterà ad avere una temperatura uniforme per tutta la sua lunghezza quanto più sarà grosso. Nel passare in fatti a cilindri gradatamente più grossi cresce in una maggior proporzione la loro attitudine a trasmettere il calorico per conducibilità lungo la propria massa, aumentandosi questa attitudine nella ragione delle sezioni trasversali ossia de' quadrati de' diametri, di quello che cresca l'attitudine a ricevere e a comunicare il calorico medesimo nelle superficie, la quale altra attitudine non cresce nemmeno nella semplice ragione di queste superficie ossia de' diametri, ma in una ragione minore (§ 559 e 560).

3.° Che il riscaldamento è tanto più pronto quanto più sottile è il mezzo che separa la sorgente del calorico dal corpo che dev'essere riscaldato (§ 474), p. e. quanto più sottili sono le pareti delle caldaje.

4.° È similmente, quanto più questo mezzo è conduttore. I liquidi si sogliono per questa ragione far riscaldare in vasi metallici, e specialmente di rame. Questo metallo ha in fatti il pregio di possedere ad un tempo ed una grande conducibilità, ed una attitudine ad essere ridotto in lamine molto sottili, ed una difficile ossidabilità.

566. *Relazione del riscaldamento col raffreddamento.* Un corpo che si trovi isolato entro ad uno spazio di esso più caldo, e dove l'aria e i corpi circostanti sieno tutti ad una stessa temperatura, acquista calorico in due modi, cioè e pel contatto dell'aria che gli passa vicino e per l'irradiazione de' corpi circostanti medesimi, accostandosi con ciò continuamente alla loro temperatura; e si riscalda prossimamente con quella medesima prontezza colla quale esso si raffredderebbe se fosse più caldo dello spazio medesimo per un egual numero di gradi. È alquanto difficile il provare questa proposizione con esperienze dirette: ma essendo ella una conseguenza delle già esposte dottrine della propagazione del calorico, noi possiamo tenerla per vera, senz'altra prova. Per quello in fatti che spetta al contatto dell'aria, siccome in ambi i casi la pressione atmosferica è la medesima, quando sia uguale la differenza delle temperature fra il corpo e l'ambiente, i due effetti che hanno luogo ne' due casi sono uguali e contrarii. Riguardo all'irradiazione, egli è, a vero *dire*, alcun poco maggiore la perdita di calorico che per essa fa il corpo quando è più caldo dell'ambiente, che non l'acquisto ch'ei fa quando n'è più freddo per altrettanti gradi; ma la differenza è poca cosa, ed anche per questo conto possiamo riputare i due effetti uguali e contrarii.

Chiamando t la temperatura dell'ambiente espressa in gradi centigradi, e d la differenza di temperatura fra l'ambiente e il corpo, la prontezza colla quale vien perduto il calorico raggiante dal corpo mentre è più caldo dell'ambiente è espressa dalla formola

$$A\left\{1{,}0077^{t+d} - 1{,}0077^{t}\right\}$$

essendo A un coefficiente costante; e la prontezza con cui il corpo acquista calorico mentre è più freddo dell'ambiente è data da

$$A\left\{1{,}0077^{t} - 1{,}0077^{t-d}\right\}$$

essendo A il medesimo coefficiente costante. Ora è chiaro che la prima di queste quantità sta alla seconda come $1{,}0077^{d}$ ad 1, e che perciò la prima è alcun poco maggiore; ma l'eccesso è poca cosa quando d è piccolo.

567. *Della temperatura finale che acquista un corpo entro ad uno spazio ove l'aria e i corpi circostanti abbiano temperature differenti.* In generale, quando ciascuna di queste temperature rimanga per lungo tempo invariabile, un corpo che si trovi in questo spazio e che sia di piccola mole ed ottimo conduttore, prenderà in fine una tal media fra le temperature dell'aria e de' corpi circostanti, che vi sia un esatto compenso fra la perdita di calorico che esso fa per la comunicazione co' corpi più freddi e l'acquisto che fa per la comunicazione co' più caldi. A questa media temperatura egli si andrà avvicinando con velocità progressivamente decrescente, di maniera che a tutto rigore non la raggiungerà mai del tutto, ma, come più volte abbiamo già veduto in simili casi, ne differirà sempre di qualche piccolo intervallo, che però andrà successivamente impiccolendosi sino a divenire affatto insensibile.

Questa finale temperatura del corpo potrà variare, entro ad uno spazio medesimo, per diverse cagioni. Se sarà un corpo il quale abbia deboli le facoltà assorbente ed emittente, qual sarebbe un termometro colla bolla rivestita d'una foglia metallica, esso parteciperà più della temperatura dell'aria contigua che non di quella de' corpi lontani che secolui comunicano per irradiazione; sarà il contrario se il corpo possederà in grado eminente queste due facoltà. E tanto maggiormente si avvicinerà esso corpo alla suddetta temperatura dell'aria, quanto più esso sarà piccolo e l'aria

agitata ed alto il barometro, e quanto più la positura del corpo medesimo sarà opportuna per rendere facili i movimenti idrostatici dell'aria suddetta. E la temperatura finale di cui si tratta si farà diversa, se il corpo, sempre supposto dentro al medesimo spazio, verrà cangiato di luogo o di positura; si riscalderà esso se verrà avvicinato ai corpi più caldi, ovvero se verrà rivolto a questi colle parti più emittenti ed assorbenti della sua superficie, e raffredderassi nel caso contrario.

Fra i corpi poi che stanno d'intorno al corpo considerato, i più influenti nello stabilirne la temperatura saranno, a parità d'altre circostanze, quelli che veduti dal luogo di esso corpo avranno la maggiore grandezza apparente; e quelli che avranno la maggiore facoltà emittente ed assorbente; questi ultimi in fatti manderanno al corpo quasi interamente di quel calorico che emettono dal proprio interno, e ben poco di quello ricevuto da altri corpi e rimandato per riflessione. Che se fra i corpi vicini a quello che si considera ve n'avrà alcuno ad immediato contatto, questo per poco che sia conduttore e per poco che sia estesa la superficie di contatto, avrà una grande preponderanza e sull'aria e su gli altri corpi circostanti nel determinare la temperatura del corpo toccato suddetto; perocchè la comunicazione del calorico per mezzo della conducibilità è in generale molto più pronta che per mezzo dell'irradiazione e del contatto dell'aria. Sempre s'intende che il corpo toccato sia buon conduttore.

568. Lasciando queste generalità, supponiamo che si abbia un corpo isolato in mezzo ad uno spazio dove l'aria e tutti i corpi circostanti siano ad uniforme e costante temperatura, e che dopo d'essere arrivato all'equilibrio di temperatura con essi venga a sentire l'azione calorifica, p. e., di qualche corpo più caldo collocato in vicinanza. È chiaro che esso verrà con ciò

ad acquistare nuovo calorico e ad elevarsi di temperatura; e ciò sino a che avrà sensibilmente raggiunto quel limite nel quale la quantità di calorico che esso andrà continuamente ricevendo dalla nuova sorgente calorifica verrà compensato dalla quantità che esso, come più caldo, ne cederà all'aria e ai corpi circostanti.

Questo limite poi sarà tanto più elevato quanto più sarà grande la quantità del calorico che il corpo riceverà dalla nuova sorgente. E la differenza fra un tal limite e la temperatura degli altri corpi circostanti, finchè non sia molto grande, sarà in ragione diretta semplice di essa quantità di calorico ricevuta. In fatti se il corpo, ricevendo continuamente dalla nuova sorgente una quantità di calorico come 1, s'innalzerà, p. e., sino a 5°C. al di sopra della temperatura de' corpi circostanti e dell'aria contigua e si manterrà stazionario a questa differenza di temperatura, egli il farà perchè a questa nuova temperatura esso cederà all'aria per contatto e ai corpi vicini per irradiazione una quantità di calorico pure della grandezza 1; e quando esso corpo venga in vece a ricevere del continuo una quantità di calorico come 2, dovrà elevarsi fino ad un'altra tale temperatura da poter perdere continuamente nelle medesime maniere una quantità di calorico come 2: ora una siffatta temperatura è prossimamente quella di 10° C. sopra la temperatura dell'aria e degli altri corpi circostanti (§ 554).

Questo però cessa d'aver luogo alle temperature elevate. Perocchè se prima noi cercassimo, col dare una conveniente attività alla nuova sorgente calorifica, di tenere il corpo, p. e., a 50° C. al di sopra della temperatura de' corpi circostanti e determinassimo la quantità di calorico che a quest'uopo esso dovrebbe ricevere, e quindi cercassimo coll'aumentare l'azione della nuova sorgente di portare e mantenere il corpo suddetto a 100° C. al di sopra della temperatura dei corpi

circostanti medesimi, noi troveremmo che la quantità di calorico che il corpo dovrebbe ricevere in questo secondo caso sarebbe più grande che il doppio di quella occorrente nel primo caso, poichè la perdita di calorico che farebbe continuamente il corpo nel secondo caso suddetto supererebbe il doppio di quella ch'esso farebbe nel primo caso.

569. Di questo limite di temperatura fecero uso i sigg. De la Roche e Bérard nel determinare la capacità pel calorico dei diversi gas, allo scopo di confermare i risultamenti da essi trovati con altro metodo e da noi riportati più sopra al § 434. Osservavano essi il numero de' gradi de' quali poteva farsi riscaldare un apparecchio simile al Calorimetro di Rumford al di sopra della temperatura de' corpi circostanti, col farvi circolare continuamente una corrente ora d'uno ed ora d'altro gas. In qual modo però essi operassero per dedurre da questi gradi di riscaldamento le capacità specifiche, si può vederlo nella loro Memoria originale (1), ovvero anche nel *Traité de Physique* di Biot (2).

570. *Della distribuzione del calorico in una barra metallica d'uniforme grossezza, collocata orizzontalmente con una estremità in una sorgente calorifica.* Quando l'azione di questa sorgente sia costante, lasciandovi la barra per una lunga durata di tempo, le diverse parti di questa prendono delle temperature che alla fine si rendono invariabili; e se la temperatura della sorgente medesima non è molto elevata, e se inoltre essa barra è abbastanza lunga perchè l'estremità più lontana da essa sorgente non senta da questa nessun sensibile effetto, sono queste temperature finali, secondo Biot (3), talmente distribuite

(1) *Annales de Chimie*, t. LXXXV, p. 72-224.
(2) T. IV, p. 717 e seg.
(3) *Traité de Physique*, t. IV, p. 666 e seg. *Bibliot. Britan. Sciences et Arts*, t. XXVII, p. 310.

sulla lunghezza della barra, che crescendo le distanze dalla sorgente calorifica in progressione aritmetica, gli eccessi di temperatura sopra l'aria circostante decrescono prossimamente in progressione geometrica.

Ecco per maggiore intelligenza i risultamenti di una sperienza instituita da Biot su di una barra di rame immersa con una delle estremità nel piombo fuso. Avendo fatto precedentemente scavare parecchi buchi ad uguali distanze, e quindi all'atto della sperienza avendo messo in questi del mercurio e collocate le bolle di altrettanti termometri, dopo che questi ultimi si ridussero stazionarii (al che occorse il tempo di qualche ora) trovò in essi le indicazioni seguenti:

Numero progressivo de' termometri.	Distanze dalla estremità riscaldata della barra, in parti di 101 millimetri ciascuna.	Temperature indicate da' termometri, espresse in gradi centigradi.	Eccessi sulla temperatura dell'aria, essendo questa a $+15°,75$.	Quozienti ottenuti dividendo ciascuno de' precedenti eccessi per l'eccesso successivo.
1	2,25			
2	3,25			
3	4,25			
4	5,25	$+96°,25$	$80°,50$	
5	6,25	81, 50	65, 75	1,22
6	7,25	69, 50	53, 75	1,22
7	8,25	59, 50	43, 75	1,23
8	9,25	51, 25	35, 50	1,23
9	11,25	39, 75	24, 00	$1,479 = 1,216^2$
10	13,25	31, 45	15, 70	1,53
11	15,25	26, 75	11, 00	1,43
12	17,25	23, 25	7, 50	1,47
13	19,25	21, 00	5, 25	1,43
14	21,25	19, 50	3, 75	1,40

L'ultima colonna è stata aggiunta da noi, essendoci parso ch'ella giovi a manifestare la legge di cui parliamo.

Che la temperatura debba andare degradando lungo la barra è una necessaria conseguenza della perdita di calorico che avviene alla sua superficie. Quando non avesse luogo questa perdita, la barra prenderebbe col tempo una medesima temperatura per tutta la sua lunghezza: ma siccome in ciascun punto della sua superficie viene perduto del calorico e per irradiazione e pel contatto dell'aria, così a proporzione che il calorico passa innanzi si va esso dissipando dalla superficie e lascia che nelle parti della barra più lontane dalla sorgente la temperatura si mantenga più bassa. Si ha poi lo stato stazionario delle temperature allorquando la legge di degradazione che corrisponde a ciascuna sezione trasversale della barra è di una tale rapidità (§ 473), che tanto calorico passi dalla sezione medesima quanto basta per compensare la perdita che se ne fa nella porzione di barra posteriore a quella sezione. Finchè la distribuzione delle temperature non è giunta a questo punto, essendo troppo bassa la temperatura delle parti lontane dalla sorgente calorifica e troppo poca perdita di calorico facendosi in esse, ed essendo all'incontro molto rapida la degradazione delle temperature e passando perciò innanzi nella barra una abbondante quantità di calorico, succede che la temperatura delle suddette parti lontane si va innalzando. E se mai questo punto venisse oltrepassato, cioè se mai la temperatura delle suddette parti lontane dalla sorgente calorifica si rendesse più elevata di quello che corrisponde al suddetto stato stazionario, allora sarebbe troppo grande la perdita di calorico in queste parti lontane e troppo debole il movimento del calorico per supplire a queste perdite, attesa la poco rapida degradazione che avrebbe luogo nelle temperature lungo la barra: si raffredde-

rebbero quindi esse parti lontane, per avvicinarsi anche in questo caso al suddetto stato stazionario.

Egli è poi facile a vedersi che siccome tanto men calorico dee passare da una delle sezioni trasversali quanto più questa è lontana dalla sorgente del calore, stantechè tanto minore è la perdita ch' esso dee risarcire, così la degradazione delle temperature dee divenire gradatamente più lenta a proporzione che si va più lontano dalla sorgente calorifica medesima; vicino alla sorgente, p. e., ella può essere di 10° C. per ogni centimetro lineare, a qualche distanza può divenire di 9° C. per centimetro, quindi di 8° C., ec.

Che poi si debba avere, almeno alle temperature poco elevate, quella progressione geometrica decrescente di cui si è parlato, è questa una conseguenza della legge o principio di Newton riguardo al raffreddamento (*): noi non ne diamo dimostrazione, abbisognando questa di calcoli troppo elevati.

Siccome però questo principio di Newton non vale se non nel caso che sieno piccole le differenze di temperatura fra l' aria e la barra, così questa progressione geometrica non si verifica alle temperature molto elevate; ma non si sa finora in qual modo la legge debba in questo caso venire modificata. È farebbe un lavoro molto utile chi si accingesse a tale ricerca; perocchè quando fosse conosciuta cotal legge di degradazione delle temperature lungo una barra metallica anche ai gradi elevatissimi, si potrebbe estendere anche a questi un metodo immaginato dal medesimo Biot per determinare le temperature de' corpi. È questo metodo il seguente.

Alla temperatura che intendesi di misurare si espone una delle estremità di una barra metallica lungo la quale, ad una conveniente distanza dalla sorgente calorifica, si trovino de' buchi ripieni di mercurio con en-

(*) Biot, *Traité de Physique*, t. IV, p. 668 e seg.

tro de' termometri; e dalla legge con cui vanno decrescendo i termini più bassi della progressione delle temperature, cioè quelli corrispondenti alle distanze maggiori dalla sorgente calorifica, dove le temperature possono essere misurate dai comuni termometri, si deduce per mezzo del calcolo quale debba essere il primo termine, vale a dire la temperatura corrispondente a quel punto della barra ove questa comincia a trovarsi entro la sorgente calorifica; da questo primo termine poi si può dedurre la temperatura della sorgente calorifica medesima, col soccorso di prove preliminari le quali mostrino la relazione che può aver luogo fra un tale primo termine e la temperatura di essa sorgente.

La legge sopraddetta della progressione geometrica, anche alle temperature poco elevate, non vale se non pel caso che le barre sieno molto lunghe, e pei punti di esse che sono lontani dall'estremità più fredda, se la loro lunghezza è limitata, di maniera che anche l'estremità più lontana dalla sorgente calorifica senta *qualche* sensibile effetto da questa, la legge della degradazione delle temperature è alquanto diversa; e ciò specialmente verso la suddetta estremità più lontana della barra, decrescendo ivi le temperature d'una maniera meno rapida di quello che darebbe la progressione geometrica, come appare alcun poco anche ne' risultamenti esposti nella tabella precedente. Noi però non ci occuperemo nell' esporre qual sia la precisa modificazione che ha luogo in questo caso, giacchè ciò ci condurrebbe troppo lontano.

In generale poi cotesta legge secondo cui decrescono le temperature alle quali dopo un tempo sufficiente si riducono le barre, o lunghe o corte, esposte a una sorgente costante di calore, varia secondo la facoltà conduttrice delle sostanze onde sono formate; a parità d'altre circostanze, queste temperature decrescono tanto più rapidamente quanto meno la sostanza

è conduttrice. Trasse di ciò partito il sig. Despretz il quale dalla maggiore o minore rapidità di questa degradazione dedusse i rapporti delle facoltà conduttrici di varie sostanze (§ 478).

In fine se si prendono a considerare più barre della medesima natura ma di diversa grossezza, si trova che la legge di degradazione di cui si tratta è tanto più rapida, poste pari le altre circostanze, quanto più le barre sono sottili. Supponiamo in fatti che si abbiano parecchie sottili barre cilindriche tutte uguali di forma e tutte della medesima natura, e che si abbia altresì una barra unica della stessa natura di quelle e della stessa lunghezza, ma d' una sezione trasversale uguale alla somma delle sezioni trasversali di esse. Egli è chiaro (come abbiamo veduto in un caso somigliante al § 565) che la facoltà di trasmettere il calorico per conducibilità al lungo delle barre è la medesima tanto nella barra maggiore come nell' aggregato delle barre minori; ma non così avviene della facoltà di perdere calorico dalle superficie laterali, la quale è più grande nelle piccole barre avendo fra tutte una maggior superficie. Quindi è che il calorico che viene trasmesso per conducibilità secondo la lunghezza viene più facilmente perduto durante il cammino dall' aggregato dalle barre piccole, che non dall' unica barra grossa; e perciò una minore quantità di esso prosegue innanzi nelle parti ulteriori di queste piccole barre medesime: e ciò avviene tanto maggiormente quanto più queste barre sono sottili. Ciò poi vale anche per le barre di tutt' altra forma che cilindrica, purchè quelle che si confrontano abbiano simili le sezioni trasversali, come pure per qualsivoglia positura che lor si dia, o orizzontale o inclinata, nello esporle alla sorgente calorifica, purchè quelle che si paragonano sieno collocate colla medesima inclinazione rispetto all' orizzonte; sempre cioè succede che nelle più sottili la degradazione delle

temperature ridotte a stato stazionario è più rapida che nelle barre grosse.

Noi tralasceremo di parlare di tutte le altre questioni più complicate che si presentano riguardo alla distribuzione del calorico ne' corpi. Si potrà consultare intorno a questo oggetto la celebre *Théorie analytique de la Chaleur* di Fourier (1); nella quale per altro in ciò che riguarda la perdita del calorico alla superficie libera de' corpi dovrebbero modificarsi alcune dottrine, approfittando delle belle sperienze fatte recentemente da Petit e Dulong e delle quali abbiamo più sopra citati i risultamenti (2).

571. *Metodi per ritardare il riscaldamento de' corpi.* Sono essi presso a poco quei medesimi co' quali si impedisce che si raffreddino i corpi caldi, vale a dire:

1.° L' uso di sostanze poco conduttrici. Quando si ripone il ghiaccio nelle ghiacciaje vi si prepara sotto un letto di paglia, e questo si tiene asciutto col fare che l' acqua che ne va scolando si raduni in un pozzo verso il mezzo da cui poscia ha uscita.

2.° La sottrazione de' raggi solari si diretti che riverberati. Nella state noi chiudiamo le finestre non solo per escludere l' aria calda esteriore, ma eziandio per impedire l' ingresso alla luce solare.

3.° L' impedimento alla circolazione dell' aria all' intorno de' corpi freddi. Quando si tratti di piccole masse giova il porle entro recipienti inferiormente ciechi a guisa di campane rovesciate; e giova altresì l' usare parecchi di questi l' uno dentro l' altro; cercando che sieno dotati di molta facoltà riflettente, e che stiano separati l' uno dall' altro per mezzo di

(1) *Paris, chez Firmin Didot*, 1822.

(2) Un saggio di tali modificazioni cominciò a darlo il valentissimo matematico Guglielmo Libri. Veggasi la sua Opera che ha per titolo: *Mémoires de Mathématique et de Physique.* Florence, chez Ciardetti, 1829, t. I, p. 15.

corpi poco conduttori i quali presentino pochi punti di contatto alle superficie che tengono separate.

4.° Per impedire affatto il riscaldamento di un corpo al di sopra della temperatura 0°C., serve uno strato di ghiaccio di cui lo si cinga all' intorno, togliendo nello stesso tempo che vi abbia accesso la luce: finchè il ghiaccio non è liquefatto, non lascia in veruna guisa passare il calorico per riscaldare il corpo al di sopra di 0°C. Essendo in fatti necessariamente il ghiaccio o a 0°C., o sotto di 0°C., non può esso comunicar calorico repente se non a corpi che sieno al disotto di 0°; e però potrà bensì comunicar calorico al corpo considerato finchè questo sarà sotto di 0°, ma giunto il corpo a questo punto, non potrà più il ghiaccio comunicargliene la minima quantità. Questo modo d' impedire il passaggio del calorico viene adoperato nel Calorimetro di Lavoisier e Laplace (§ 452).

5.° In alcuni casi giova il ricoprire i corpi con de' rivestimenti inzuppati d' acqua o d' altro liquido evaporabile. Fino a tanto che il liquido non sia evaporato la temperatura del corpo ricoperto non può oltrepassare il punto d' ebullizione del liquido medesimo; e se l' azione del calore è breve, non può nemmeno farsi vicina a un tal punto. S' accostano talvolta i lavoratori alla bocca di certe fornaci accese, e trattengonsi ivi alcuni istanti a far certi loro lavori; nè ricevono danno dal vivissimo calor raggiante, essendo difesi il volto e le mani con uno strato d'argilla impastata d' acqua, il quale lor serve parte per l' evaporazione dell' acqua e parte per la poca conducibilità dell' argilla.

6.° Citeremo da ultimo l' uso delle reti metalliche proposte dal Cav. Aldini pe' casi d' incendio (§ 483).

Degli effetti del calor solare e della irradiazione notturna.

572. Un corpo esposto all'aria libera è soggetto ad un gran numero di cause di raffreddamento e di riscaldamento; e queste sono:

a) l'irradiazione del corpo verso tutte le bande dello spazio libero,

b) il contatto dell'aria circonvicina,

c) il contatto de' corpi contigui o solidi o liquidi,

d) l'assorbimento del calorico raggiante oscuro inviato dai corpi circostanti vicini e lontani,

e) la luce solare sì diretta che riverberata,

f) l'assorbimento de' raggi calorifici provenienti dagli spazii celesti, i quali si possono considerare come un freddissimo inviluppo che circonda tutto quanto il globo e che si trova alla temperatura di circa —50°C.

573. Per dire qualche cosa riguardo al calorico raggiante oscuro che viene inviato dai corpi circonvicini, noi osserveremo, essere esso mandato parte per emissione dall'interno di essi corpi e parte per riflessione da essi operata sul calorico raggiante che loro arriva da altri corpi; essere modificata la quantità di questo calorico raggiante dallo strato aereo che deve essere attraversato dai raggi calorifici prima di venire al corpo che si considera, il quale strato aereo toglie una parte di questo calorico raggiante assorbendolo e fors'anche riflettendolo in altre direzioni, e ne sostituisce un'altra parte ora maggiore ed ora minore della precedente, cui irraggia esso medesimo e forse anche riflette secondo quella stessa direzione a cagione dell'irradiazione di altri corpi verso esso stato aereo; essere una tale modificazione tanto maggiore quanto più grosso è questo strato aereo, quanto più è denso, quanto più è torbido di atomi di polvere in esso

nuotanti, e quanto più la sua temperatura differisce da quella de' corpi donde provengono i raggi calorifici che il debbono attraversare; essere infine la quantità di questi raggi che viene ricevuta dal corpo che si considera, in proporzione della sua facoltà assorbente.

Ci fermeremo alquanto più a lungo ne' paragrafi seguenti a considerare gli effetti de' raggi solari, e quelli dello scambio di calorico fra un corpo e gli spazii celesti.

574. *Della Luce solare.* Se noi collochiamo un corpo in un luogo ove arrivino i raggi solari, tenendolo però difeso dalla loro azione diretta per mezzo di un piccolo riparo collocato a qualche distanza, il quale appena gli faccia ombra e non alteri l'azione calorifica dei corpi vicini; e se dopo che questo corpo è arrivato ad una temperatura stazionaria noi leviamo il riparo suddetto, noi troviamo che da quell'istante va esso gradatamente riscaldandosi, nè si trattiene dallo elevarsi nella temperatura se non dopo essere arrivato a parecchi gradi sopra la temperatura primitiva, a quel numero cioè di gradi nel quale la quantità di calorico ch'esso va in diversi modi comunicando ai corpi vicini uguaglia precisamente la quantità ch'egli ne va ricevendo dai raggi luminosi che il levato riparo permette che gli giungano. Questo effetto è quello che noi chiameremo *della luce diretta.*

Hanno però una notabile azione sui corpi (§ 396) anche que' raggi luminosi provenienti in prima origine dal Sole i quali vengono riverberati sopra i corpi stessi dall'aria, dalle nubi e dai corpi vicini, raggi che fra tutti costituiscono ciò che si suol chiamare la *luce diffusa.* Ciò apparisce da moltissime prove, p. e., dal vedersi che un termometro, a parità perfetta delle altre circostanze, indica una temperatura più elevata se ha di contro una muraglia bianchissima esposta alla luce del sole, che se ha dinanzi una muraglia della stessa estensione e che sia anche più

riscaldata, ma che sia nera. L'effetto poi si riconoscerebbe nella sua totalità se avvenisse che mentre si tiene riparato dalla luce diretta del Sole un termometro di prontissime indicazioni qual sarebbe uno de' termometri metallici di Bréguet, si ecclissasse *tutto* ad un tratto il Sole; in questo caso, supposto che un tale termometro impiegasse sì breve tempo a discendere sino all' equilibrio di temperatura col complesso delle rimanenti azioni calorifiche, che nè i corpi circostanti nè l' aria si potessero intanto sensibilmente raffreddare, si avrebbe ne' gradi di cui esso discenderebbe l' effetto in lui della cessata luce diffusa.

575. I varii gradi di attività che possono avere nelle varie circostanze la luce diretta e la luce diffusa si possono paragonare fra loro mediante il *Fotometro* o *Lucimetro* di Leslie. È questo uno strumento affatto simile al suo termometro differenziale (*), non avendo altra differenza se non questa che una delle sue bolle è annerita, o anche semplicemente coperta d' un berretto di seta nera. La luce e il calore de' raggi solari sì diretti che diffusi passano liberamente dalla bolla trasparente, ma vengono trattenuti da quella opaca, ove scaldano l' aria contenuta e fanno deprimere dalla sua banda il liquido colorato, spingendolo in vece all' alto dalla banda contraria, e facendogli percorrere un maggiore o minor cammino secondo che è più o meno forte la suddetta azione riscaldante del Sole.

Volendosi l' effetto totale delle due qualità di luce insieme congiunte, si tien conto dell' intero spostamento che avviene nel liquido colorato quando si trasporta lo strumento da un luogo oscuro ad un luogo ove sia contemporaneamente esposto alle due sorte di luce. Volendosi l' effetto della sola luce diffusa, si riparano le bolle dai raggi diretti del Sole, lasciando libero l' accesso all' altra luce. Quando in fine si voglia il

(*) *Bibl. Brit. Sc. et Arts*, t. LVI, p. 10.

separato effetto della luce diretta, si detrae quello della luce diffusa da quello della luce totale. Si potrebbe talvolta desiderare l'effetto della sola luce che ci viene dall'alto, cioè dal sole, dalle nubi, e dall'aria; in questo caso converrebbe riparare lo strumento dalla luce che vien riverberata dal suolo.

Affinchè però le diverse prove fatte con questo strumento siano fra loro paragonabili, si richieggono diverse avvertenze, vale a dire:

1.° È necessario che lo strumento stia difeso dalle agitazioni dell'aria, cosa che si può ottenere coprendolo con una campana di vetro. Egli è infatti evidente che ad uguale azione calorifica della luce le indicazioni dello strumento sono minori essendo l'aria agitata che essendo tranquilla, e tanto minori quanto più grande è l'agitazione.

2.° Nelle diverse prove non deve la pressione atmosferica essere notabilmente diversa, sapendosi che quanto più grande è questa pressione, tanto maggiore è l'attitudine dell'aria a sottrarre calorico (§ 507).

3.° Non deve neppure essere gran fatto diversa dall'una prova all'altra la temperatura dell'ambiente. Imperocchè, posta la medesima differenza di temperatura fra le due bolle, quanto più caldo sarà l'ambiente, tanto maggiore sarà la quantità di calorico irradiata dalla bolla annerita verso i corpi circostanti (§ 531), e tanto maggiore dovrà essere l'azione della luce per mantenere una siffatta differenza di temperatura. Oltre a ciò, per una medesima diversità di temperatura fra le due bolle, si avranno nello strumento delle indicazioni differenti secondo che l'ambiente sarà più o meno caldo: e nel caso che il liquido colorato contenuto nella curvatura del tubo sia acido solforico concentrato, il quale tenga asciutta l'aria delle due bolle, si avranno indicazioni tanto minori quanto più alta sarà la temperatura dell'ambiente; per cui in questo caso alle temperature più elevate

occorrerà maggior luce perchè si abbia una data differenza di temperatura, e malgrado ciò si avranno nello strumento indicazioni minori.

Per dimostrare quest'ultima particolarità dello strumento, supponiamo che ad uguale temperatura delle due bolle il liquido colorato si trovi allo stesso livello da ambedue le braccia, arrivando sino in A della banda della bolla annerita D (fig. 13), e fino in B dalla banda della bolla trasparente E, e che perciò a cotesta uguale temperatura delle due bolle l'aria secca in esse contenuta sia della medesima densità; e supponiamo che venendo recata la bolla annerita, p. e., a $+5°$ C. e tenuta la trasparente a $0°$ C., trovisi il liquido colorato terminato in B' dalla banda della bolla trasparente e in A' dalla banda di quella annerita, essendo così l'aria contenuta in D alcun poco più rara di quella contenuta in E. Se noi immagineremo che dopo comunicate queste due temperature di $0°$ e di $+5°$ C., e dopo reso stazionario lo strumento, vengano le due bolle riscaldate entrambe di $10°$ C., talchè si mantenga fra esse la medesima differenza di $5°$ C., e ciò per un istante senza che sia permesso alcun movimento alla colonna $A'B'$ del liquido colorato, noi avremo aumenti disuguali nelle forze espansive delle due masse d'aria contenute nelle bolle medesime. Perciocchè la forza espansiva dell'aria contenuta in D crescerà, nelle circostanze supposte, di $^{10}/_{267}$ del valore che ella avrebbe a $0°$ avendo l'aria lo stesso volume, e la forza espansiva dell'aria contenuta in E crescerà essa pure di $^{10}/_{247}$ del valore che ella, a pari volume di essa aria, avrebbe a $0°$ (vedi più sotto al § 634); siccome però l'aria chiusa in E è più densa di quella chiusa in D, così la forza espansiva a $0°$ di essa aria chiusa in E e i $^{10}/_{267}$ di questa forza espansiva sono rispettivamente maggiori della forza espansiva a $0°$ dell'aria della bolla D e de' $^{10}/_{267}$ di questa forza; quindi quei $10°$ C. di cui si sono scaldate ambe le bolle aumentano maggiormente la forza espansiva dell'aria contenuta in E che non quella dell'aria contenuta in D. Lasciando adunque in libertà il liquido colorato, esso dovrà discendere alcun poco da B' per questo comune elevamento della temperatura delle due bolle; e così avverrà per un nuovo comune riscaldamento, ec.

Con questo strumento si possono fare molte altre sperienze. Si può, a cagion d'esempio, misurare il grado di trasparenza delle diverse sostanze, e la loro facoltà per riflettere la luce; il che si ottiene facendo ch'esso venga esposto ora alla luce trasmessa da esse ed ora alla luce riflessa. Leslie trova, p. e., che la tela finissima appellata *batista*, quando è asciutta lascia passare 0,80 della luce incidente, quando è bagnata 0,93; che la carta fina se è asciutta ne lascia passare 0,49, e se bagnata d'olio 0,80; che la neve ne riflette cinque sesti (1). Si può renderlo più sensibile cingendo la bolla annerita con parecchi inviluppi concentrici trasparenti, i quali permettano l'ingresso alla luce, e impediscano l'uscita al calorico (2).

576. Da diverse sperienze che il Leslie fece con questo strumento sulla luce diretta del Sole alle diverse altezze di questo astro sopra l'orizzonte, e da diversi calcoli instituiti su questo particolare, ricavò egli la tabella seguente (3).

(1) *Bibl. Brit. Sc. et Arts*, t. LVI, p. 11.
(2) *Ibid.* p. 12.
(3) *Description et usage des Instrumens Météorologiques de M. Leslie, trad. de l'anglais.* Paris, chez A. Bélin, 1828, p. 42.

Altezza del Sole.	Lunghezza della colonna d'aria attraversata.	Intensità calorifica della luce trasmessa, supposta 1,000 fuori dell'atmosfera.
90° . . .	1,000	0,750
85°	1,004	0,749
80°	1,015	0,747
75°	1,035	0,742
70°	1,064	0,736
65°	1,103	0,728
60° . . .	1,154	0,718
55°	1,220	0,704
50°	1,305	0,687
45°	1,413	0,666
40°	1,554	0,640
35°	1,740	0,606
30° . . .	1,995	0,563
25°	2,359	0,507
20°	2,905	0,434
15°	3,841	0,331
10°	5,610	0,199
5°	10,450	0,050
0° . . .	37,850	0,00002

L' azione della luce solare non diminuita dall' ostacolo dell' aria e ricevuta perpendicolarmente alla sua direzione, viene da Leslie valutata tale da potere in un' ora di tempo riscaldare di un grado centigrado uno strato d' acqua alto un piede (il piede inglese equivale a metri 0,3048) (*).

Io non so da quali sperienze nè da quali calcoli abbia il Leslie dedotto un tale risultamento; a me però sembra

(*) *Description et usage des Instrumens Météorologiques de M. Leslie*, p. 43.

roppo debole, e inferiore fors' anche al terzo del vero. o ho cercato in fatti con un apparecchio semplicissimo di leterminare la suddetta forza de' raggi solari, e ho ottenuto in valore molto più grande. Ecco l'esposizione di una delle perienze da me fatte su questo soggetto.

Esposi alla luce solare, in un luogo ove l'aria fosse ranquilla, un termometro colla bolla inverniciata di nero lel diametro di 16 millimetri, tenendo questa bolla isolata; d avendo aspettato ch' esso divenisse stazionario (il che aveniva dopo di essere salito otto o dieci gradi della scala di Réaumur al di sopra della temperatura dell' ambiente.), tenni conto de' gradi ch' esso indicava, che furono $+19°,75$ R. Dopo ciò riscaldai leggiermente la bolla col sottoporvi per alcuni istanti la fiamma di una candela, operando però in modo che questa non potesse riscaldare i corpi vicini, e fare che influissero di poi sulla temperatura della bolla stessa; poscia con un piccolo riparo trattenni quel fascio di raggi solari che arrivava su di essa bolla, avendo cura di non oscurare sensibilmente con ciò i corpi circostanti, onde lasciar sussistere per intero l'effetto della luce riverberata sulla bolla da questi altri corpi, e non togliere che l'effetto della luce diretta; ed osservai quanto tempo impiegò il termometro a discendere, sotto questo riparo, da $+21°,75$ R. sino a $+17°,75$, vale a dire a discendere da una differenza di 2° R. sopra la temperatura che prendeva la bolla quando riceveva i raggi solari diretti, sino ad una differenza di 2° R. sotto la temperatura medesima; il qual tempo mi parve di due minuti primi sensibilmente precisi. Ciò posto, ecco il ragionamento ch' io feci.

Siccome la media velocità o prontezza colla quale il termometro perdeva calorico fra le temperature di $+21°,75$ e di $+17°,75$, era prossimamente la stessa di quella che corrispondeva alla temperatura di $+19°,75$, così noi possiamo ammettere che il calorico usciva in tanta copia dallo strumento mentre questo trovavasi alla temperatura di $+19°,75$ e al riparo de' raggi solari diretti, che durando uniformemente questa perdita per 2′ lo avrebbe fatto discendere di 4° R. Ma essendo permessi i suddetti raggi diretti, ed essendo il termometro alla suddetta temperatura di $+19°,75$, rimaneva questo stazionario, vale a dire veniva

risarcito compiutamente dai raggi solari di quanto perdeva per l'irradiazione e pel contatto dell'aria: perciò noi possiamo conchiudere che la bolla termometrica riceveva continuamente dal Sole tanta copia di calorico, che in due minuti primi, supposte impedite tutte le perdite, avrebbe per essa potuto scaldarsi di 4°R., ossia di 2°R. in un minuto primo, ossia finalmente (per passare dai gradi di Réaumur indicati dal mio strumento ai gradi della scala centigrada) di 2°,5C. in un minuto primo. Considerando ora che la massa della bolla era uguale a quella d'un cilindro che avesse la base uguale alla sezione trasversale del fascio de' raggi luminosi ricevuti da essa bolla e l'altezza uguale a due terzi del diametro della bolla medesima cioè uguale a millimetri $^2/_3.16$, e rammentandoci che la capacità pel calorico della materia della bolla, fra mercurio e vetro, è in pari volume uguale a 0,444 di quella dell'acqua, noi veniamo a ritrarne che la quantità di calorico la quale nelle circostanze della sperienza poteva essere comunicata alla bolla suddetta in un'ora di tempo dal fascio luminoso che arrivava su di essa, avrebbe bastato a scaldare d'un grado centigrado una massa cilindrica di acqua d'una base uguale alla sezione trasversale del fascio stesso e d'un'altezza uguale a millimetri

$$60.\frac{2}{3}.16.2,5.0,444$$

vale a dire di millimetri 710.

Non però tutta la luce incidente penetrava nella bolla, ma ne veniva riflessa una parte che all'apparenza io giudicai uguale a quella riverberata dalla superficie anteriore di una lamina di vetro; e siccome il vetro riflette circa $^1/_{40}$ della luce incidente quando questa cade perpendicolarmente, e ne riflette una quantità maggiore quando ella vi cade obbliquamente, così possiamo ammettere per un medio che la bolla annerita rimandasse indietro il trentesimo de' raggi incidenti, e che al trovato valore convenga aggiungere $^1/_{29}$ di esso per avere l'effetto che avrebbe potuto produrre la total luce che arrivava alla bolla. L'altezza pertanto che si sarebbe dovuta dare ad un cilindro di acqua, affinchè questo avesse potuto in un'ora essere scaldato di 1°C. da un fascio di raggi avente una sezione trasversale uguale alla base del cilindro stesso, sarebbe stata di millimetri 735.

Questa sperienza venne fatta il giorno 16 febbraio 1831 verso il mezzodì; per cui il Sole era appena all' altezza di 32°,3′ sopra l'orizzonte, e una gran parte de' raggi veniva ritenuta indietro dall' aria. Se noi ammettiamo con Leslie che i raggi fossero arrivati a terra con una intensità uguale a 0,572 di quella fuori dell' atmosfera, noi abbiamo l' altezza della suddetta massa d' acqua per raggi che non abbiano sofferto diminuzione dall' aria, uguale a metri 1,285. Se in vece noi ammettiamo con Bouguer che a quest' altezza di Sole l' intensità della luce, in quanto alla facoltà d' illuminare, arrivi a noi diminuita di un terzo, e che lo stesso avvenga eziandio riguardo alla facoltà di riscaldare, la suddetta altezza della massa acquea risulta di metri 1,099. E prendendo una media fra i due risultamenti abbiamo metri 1,192.

In un'altra sperienza fatta il 18 dello stesso mese di febbrajo, essendo il Sole alto 32°,45′, il tempo del raffreddamento del termometro mi risultò di 1′,56″ (probabilmente la maggior forza del Sole portò la bolla ad una più alta temperatura, talchè ella impiegò men tempo a discendere di quei 4° R., forse però la differenza nacque da inesattezza nello sperimentare, e fors' anche provenne da qualche altra cagione); l' altezza della massa d' acqua che poteva come sopra venire effettivamente scaldata di 1.° C. in un' ora dai raggi solari dopo attraversata l'atmosfera mi riuscì di millimetri 760; e l' altezza medesima corrispondente alla luce non diminuita dal passaggio per l' atmosfera, prendendo una media fra il risultamento che si otterrebbe seguendo Leslie (e che sarebbe 1^m,295) e quello (uguale a 1^m,118) che si avrebbe seguendo Bouguer, fu di metri 1,206.

Prescindendo dalle inesattezze incorse nell' esecuzione di queste sperienze (nelle quali io posso facilmente avere sbagliato di $1/30$ del valor totale, potendo essermi ingannato di $1/4$ di millimetro in più o in meno riguardo al diametro della bolla, di tre o quattro secondi nel tempo del raffreddamento, e di $1/20$ di grado di Réaumur nella misura delle temperature), vi sono in esse parecchie cause d' errore, le quali però tendono piuttosto a mostrar minore l'effetto de' raggi solari anzichè a farlo comparir maggiore; e sono fra le altre le seguenti:

1°. Quando la bolla si raffredda stando riparata dai raggi diretti del Sole, ella è in tutti i punti della superficie esterna ad una temperatura appena più bassa che nell' interno; all' incontro, quando è illuminata dai raggi solari, dalla banda volta al Sole è più calda all' esterno che all' interno, e soltanto dalla banda contraria è più fredda all' esterno come nel caso precedente. A pari temperatura interna adunque, allorquando i raggi solari diretti sono impediti la superficie della bolla considerata in totale è più fredda che nel caso contrario, e va perdendo minore quantità di calorico, e perciò non basta questa sua perdita (la quale è quella che noi calcoliamo) per dare la vera misura del calorico che le può essere comunicato da' raggi solari.

2.° Il tempo impiegato nel raffreddamento, p. e., da $+21°,75$ R. fino a $+17°,75$ è un po' più lungo di quello che sarebbe impiegato quando la bolla perdesse continuamente calorico colla medesima abbondanza come allorquando ella è a $+19°,75$. Lasciando in fatti raffreddare un termometro e notando i tempi da esso impiegati nell' abbassarsi di uguali successive differenze di temperatura, si trova che questi tempi vanno crescendo l' uno dopo l' altro, e non già in progressione aritmetica, ma per differenze gradatamente crescenti. Se quindi si divide l' intervallo fra $+21°,75$ e $+17°,75$ in un numero dispari molto grande di parti uguali, il quale noi indicheremo con $(2n + 1)$, i due tempi impiegati nella prima e nell' ultima di queste parti formano fra ambedue più del doppio del tempo impiegato in quella delle suddette $(2n + 1)$ parti la quale è equidistante dalle estreme; lo stesso è della somma de' due tempi impiegati nella seconda e nella penultima di esse parti, ec. Donde segue che il total tempo del raffreddamento da $+21°,75$ a $+17°,75$ è maggiore di $(2n + 1)$ volte il tempo impiegato nel raffreddamento della parte equidistante dalle estreme, ossia del tempo che verrebbe impiegato dallo strumento se continuamente perdesse calorico nella stessa copia come fa alla temperatura di $+19°,75$. Anche questa causa (della quale a dir vero in esperienze più accurate si potrebbe tener conto) concorre a farci comparir minore del vero la perdita di calorico a $+19°,75$ quando sia misurata col metodo sovra esposto, e quindi a farci sembrar minore l' effetto de' raggi solari.

Vi possono essere altre cause d' inesattezza proprie del metodo, a cui sono da aggiungere quelle dipendenti dallo strumento, e quelle dell' esecuzione degli sperimenti; ma queste possono tutto al più compensare le due precedenti, di maniera che l' effetto de' raggi solari se non si vuole stimar maggiore, non si dee riputar minore di quello che si trae dalle sperienze precedenti.

Noteremo poi che questa maniera di sperimentare ha il vantaggio che non occorre tener conto nè della densità dell' aria, nè della temperatura dell' ambiente, nè della disposizione de' corpi circostanti; soltanto giova che l' aria sia tranquilla, affinchè non vi siano irregolarità nelle cause raffreddanti, ma queste sieno uguali sì quando lo strumento sta stazionario sotto l' azione de' raggi solari diretti come quando si raffredda sotto al riparo.

Fece sullo stesso soggetto delle sperienze anche il signor Pouillet (*); però non avendo potuto vederne una descrizione circostanziata, non posso farne paragone colle mie.

577. L' azione riscaldante della luce solare diretta non solo varia per la diversa altezza del Sole sopra l' orizzonte, ma ella cangia altresì d' intensità da un luogo ad un altro e da un tempo ad un altro, secondo il vario grado di trasparenza dell' aria; e lo strumento di Leslie tanto per la sensibilità nel mostrare le piccole differenze quanto per la prontezza nelle sue indicazioni è attissimo a farci conoscere anche queste diversità.

Sono più numerose le circostanze che possono modificare l' azione della luce diffusa. Ella varia similmente secondo il grado d' elevazione del Sole sopra l' orizzonte, e pel grado di limpidezza dell' aria; ma di più hanno parte in essa la diversa quantità e densità delle nubi, e la qualità e la disposizione de' corpi terrestri che si hanno d' intorno. È debolissima quando il cielo è coperto da nubi molto fitte, e quando l' aria è limpidissima; è in vece della massima efficacia

(*) *Élémens de Physique*, t. II, p. 703.

allorquando il sole è velato da nubi leggiere. Ne' luoghi elevati, mentre il cielo è puro, ella è assai più debole che nei luoghi bassi.

578. Oltre al vario grado d' intensità della luce sonovi parecchie altre circostanze che possono far variare gli effetti che i corpi ne ricevono, e queste sono principalmente le seguenti:

1.° La maggiore o minore obbliquità con cui i raggi luminosi arrivano sulla superficie dei corpi. Se questi raggi cadranno obbliquamente su di una lamina piana, essa ne riceverà minor copia che se vi cadranno perpendicolarmente, e minore effetto verrà a provarne.

2.° La diversa attitudine dei corpi ad assorbire la luce, combinata colla loro diversa facoltà emittente pel calorico. A parità d' altre circostanze i corpi che meno si riscaldano sono quelli dotati di pochissima facoltà assorbente per la luce e di molta facoltà emittente pel calorico: tali sono le stoffe bianchissime, la neve, certe polveri candidissime, ec.; tal è il bulbo di un termometro a mercurio, il quale riflette *molto* abbondantemente la luce per la lucentezza del liquido metallo, ed emette abbondantemente il calorico in grazia della superficie di vetro; tal è altresì il bulbo di un termometro ad alcool non colorato, il quale assorbe assai poca luce ed è molto atto ad emettere il calorico. Alquanto di più si riscaldano i metalli lisci e lucenti; giacchè quantunque assorbano poca luce al pari de' precedenti, emettono però scarsamente il calorico. Più ancora si riscaldano i corpi di superficie annerita, i quali fra tutti sono quelli che meglio assorbono la luce: egli è ben vero che paragonati co' precedenti perdono più abbondantemente anche il calorico; ma ciò però non avviene se non che per riguardo all' irradiazione, non già rispetto al contatto dell' aria, per cui in paragone de' precedenti le cause di raffreddamento non sono maggiori nella medesima proporzione come lo è l' azione riscaldante. Quanto poi

sia grande la differenza fra questi ultimi corpi e quei della prima specie può vedersi da ciò, che un termometro a mercurio con bolla nuda esposto di mezzodì al Sole, essendo l'aria tranquilla, non si scalda che di 2 o 3 gradi centigradi, laddove lo stesso termometro inverniciato di nero ed esposto al Sole nelle medesime circostanze si riscalda di 12° o di 15° C. I corpi poi che più di tutti si riscaldano sono quelli che danno facile ingresso alla luce, e lasciano una difficile uscita al calorico. Tal è la cassetta immaginata da Saussure e descritta più sopra (§ 401). E tale è altresì la bolla annerita del Lucimetro di Leslie, quando per averla più sensibile vien cinta d'inviluppi trasparenti (§ 575).

3.° Lo stato dell'aria che circonda il corpo. Quanto più questa è densa, e quanto più è agitata, tanto meno può elevarsi la temperatura del corpo esposto alla luce.

4.° La posizione del corpo. Un corpo collocato in mezzo all'aria ed alto da terra, talchè l'aria possa muoversi liberamente tutto all'intorno di esso, si riscalda meno che essendo posto alla superficie del suolo ed appoggiato a cattivi conduttori. Così pure si scalderà meno un termometro la cui bolla si trovi isolata in mezzo all'aria libera, che non uno simile la cui bolla stia affissa ad una tavoletta di legno poco conduttore e il quale similmente essendo in mezzo all'aria, stia esposto orizzontalmente ovvero verticalmente ai raggi solari colla parte libera o non riparata dalla tavoletta.

5.° Il volume del corpo. A proporzione che è più grande questo volume, più alta è, a parità d'altre circostanze, la temperatura finale a cui il corpo può salire per l'azione della luce solare, quantunque la maggior massa soglia far sì che maggior tempo venga impiegato a conseguire (d'una maniera sufficiente) questa finale temperatura. Due termometri, l'uno colla bolla del diametro di 16 millimetri e l'altro colla bolla del dia-

metro di 8 millimetri, entrambi inverniciati di nero ed esposti ambedue orizzontalmente colle bolle isolate alla luce solare nell' aria tranquilla, essendo la temperatura all' ombra ivi presso di +12°,0 R., salirono il primo sino a +22°,0 R., e il secondo a soli +20°,6 R.; e nella differenza non ebbe parte l' inesatta graduazione de' termometri, essendo stati precedentemente confrontati, e fatta l' occorrente correzione. Molte altre prove fatte co' medesimi due termometri diedero de' simili risultamenti; sempre il più grosso, dopo un tempo sufficiente, saliva sopra la temperatura del più piccolo; e le differenze dell' uno e dell' altro sopra la temperatura dell' aria furono per termine medio come 1 a 1,22.

La cagione di tale differenza sta evidentemente in questo, che nel passare dalle piccole bolle alle grandi l'azione riscaldante de' raggi solari cresce riguardo all'effetto nella ragione de' quadrati de' diametri di esse bolle, ossia nella ragione diretta semplice delle loro superficie, o in altri termini, considerata in adequato cioè compensando fra loro i varii gradi d' attività ne' varii punti delle superficie stesse, ella si mantiene sempre della medesima efficacia per introdurre calorico da queste superficie; laddove l' azione combinata dell' irradiazione e del contatto dell' aria per togliere calorico alle superficie medesime, a pari temperatura delle bolle, si rende meno efficace col crescere delle bolle stesse, tanto nel caso che l' aria intorno ad esse bolle sia tranquilla quanto nel caso ch' ella sia agitata (§ 559 e 560). Segue in fatti da ciò, che se nel più piccolo de' citati termometri le due contrarie cause si compensano ad una temperatura di 20°,6 R., superiore di 8°,6 R. a quella dell' ambiente, nel termometro più grande alle temperature medesime non vi ha più questo compenso, ma prevale l' effetto riscaldante de' raggi solari, e perciò la temperatura si dee innalzare alcun poco affinchè la causa raffreddante crescendo insieme colla

temperatura arrivi ad uguagliare la causa riscaldante, vale a dire si dee innalzare nell' addotto esempio sino a +22°,0, ad una differenza di 10° dalla temperatura dell' ambiente.

579. *Dell' irradiazione notturna.* Quando in una notte serena si espone all' aria libera un corpo la cui temperatura sia presso a poco uguale a quella de' corpi collocati al coperto in luogo ove liberamente circoli l' aria, non sono per nulla uguali i cambii di calorico che succedono in via d' irradiazione fra la superior superficie del detto corpo e gli spazii celesti, potendosi questi, come abbiam detto, considerare siccome un freddissimo inviluppo della temperatura di circa —50°C. Al pochissimo calorico che essi irraggiano s' aggiunge, è vero, un' altra quantità di questo mandatoci all' ingiù dall' aria delle regioni superiori dell' atmosfera (§ 573); ma questa aggiunta non è gran cosa, e non ci toglie di poter riguardare gli spazii celesti come un inviluppo della temperatura di —35 o di —40 gradi centigradi. Donde segue che i corpi esposti di notte all' aria libera irraggiano molto più calorico verso l' alto di quello che dall' alto essi ricevano per irradiazione, e che quindi si abbassano notabilmente di temperatura, fino al punto cioè che la perdita continua ch' essi fanno si trovi esattamente compensata dal calorico irradiato dai corpi inferiori e da quello comunicato loro dall' aria contigua.

580. L' effetto dell' irradiazione notturna è tanto maggiore

1.° Quanto più è grande ne' corpi la facoltà emittente pel calorico. La lana, il cotone, le piume, ec. collocate in mezzo all' aria in una notte tranquilla e serena, si raffreddano di 6, di 7, ed anche di 8 gradi centigradi al di sotto della temperatura dell' aria che li circonda. I corpi metallici in vece posti nelle medesime circostanze non si raffreddano che di

uno o due gradi centigradi; e questo raffreddamento si riconosce maggiormente nel platino, nel ferro, nell'acciajo e nello zinco, che non nell'oro, nell'argento, nel rame e nello stagno, i quali ultimi sono appunto quei che hanno la minore facoltà emittente.

2.° Quanto meno conduttori sono i suddetti corpi, e i sostegni su cui si trovano. La superficie delle erbe non solo si raffredda per la molta facoltà emittente, ma altresì per la difficoltà con cui il calorico vi ascende dal sottoposto suolo. Un grosso pezzo metallico all'incontro si raffredda pochissimo, giacchè quella piccola quantità di calorico che fugge dalla superior superficie per irradiazione viene tosto risarcita dalla sottoposta massa metallica.

3.° Quanto più l'aria è tranquilla. Perocchè quanto più ella è agitata tanto meglio ella restituisce ai corpi quel calorico che essi vanno perdendo per irradiazione. Nelle notti ventose i corpi non si possono raffreddare sensibilmente al di sotto della temperatura dell'aria ambiente.

4.° Quanto più l'aria è serena e limpida; perocchè tanto minore è la quantità di calorico irradiata all'ingiù dall'aria medesima in aggiunta a quella poca mandata dagli spazii celesti. Quindi è che a pari temperatura e movimento dell'aria e a pari temperatura de' corpi circostanti, l'effetto dell'irradiazione su di un corpo deve essere molto più grande nelle regioni elevate che nelle basse, tanto più che in quelle la rarezza dell'aria, rendendo minore l'attitudine di questa a comunicare calorico per contatto, concorre al medesimo effetto.

Nelle notti nuvolose l'effetto di questa irradiazione è assai debole; in questa in fatti alla pochissima quantità di calorico irradiata all'ingiù dagli spazii celesti viene sostituita una quantità molto maggiore emessa dalle nubi, specialmente quando queste sieno fitte e collocate ad altezze ove l'atmosfera non sia molto

edda; e perciò il calorico che i corpi irradiano verso alto viene in gran parte restituito. Quando adunque cielo è nuvoloso abbiamo poco caldi i giorni, e oco fredde le notti, e quindi poca differenza dagli ni alle altre.

5.° L' effetto dell' irradiazione notturna per ultimo tanto maggiore quanto più estesa è la parte di cielo isibile dal luogo ove si trova il corpo esposto al ffreddamento.

581. Per aumentare questo effetto, si può sottoporre i corpi uno specchio concavo metallico lucidissimo; on che i corpi in luogo di ricevere calorico per irradiazione dai corpi inferiori, ne perdono per un al mezzo anche dal di sotto, e così si raffreddano ssai più.

Dando a questo vaso una forma parabolica molto ncavata, talchè il diametro della bocca riesca molto minore della distanza dalla bocca stessa al fondo del vaso, e collocando dentro a questo nel foco della superficie parabolica una delle bolle del termometro differenziale, mentre l'altra bolla si tieni difesa da ogni irradiazione verso il cielo sì diretta che indiretta e ad equilibrio di temperatura coll' aria contigua, si ha uno strumento che Leslie appella *Etrioscopio*, e che dirizzato alle varie parti del cielo, serve a misurare il freddo prodotto dal cambio di calorico per irradiazione con quelle parti medesime, e in conseguenza a mostrare il grado di trasparenza delle varie parti dell' atmosfera.

Chiuderemo l' articolo colla spiegazione di alcuni fenomeni naturali che traggono origine da cotale irradiazione.

582. Il freddo prodotto dalla irradiazione nelle notti serene, allorchè la temperatura dell' aria non è che di tre o quattro gradi centigradi sopra lo zero, può far agghiacciare la superficie delle acque stagnanti poco profonde. La grande facoltà emittente che ha l' acqua

fa ch' ella irradii molto calorico verso il cielo; l'essere ella già al di sotto del suo massimo di densità fa che le molecole superficiali che si vanno raffreddando rimangano alla superficie senza discendere per moto idrostatico; può quindi facilmente il liquido alla superficie arrivare a gelare. Qualche poco vi concorre anche l'evaporazione, specialmente se l'aria è molto secca.

Al Bengala ove la temperatura non discende mai al di sotto di zero, si fabbrica artificialmente il ghiaccio, approfittando dell'irradiazione notturna, col seguente metodo. In un terreno scoperto e reso ben orizzontale si formano degli scompartimenti quadrati larghi da un metro a un metro e mezzo ciascuno, e divisi da rialzi di terra alti un decimetro; si coprono di paglia comune o di canne da zucchero ben secche, e sopra a queste si collocano de' vasi di terra larghi e bassi unti internamente di grasso e ripieni dell'acqua che si vuol far agghiacciare, e vi si lasciano durante la notte; e alla mattina si va a raccogliere il ghiaccio che si è formato. In ciò la principal causa è l'irradiazione; e l'evaporazione non vi può avere che una parte assai piccola, come lo prova l'osservazione che le nubi ed il vento, dal quale l'evaporazione o non viene impedita o viene anzi promossa, sono di grande ostacolo all'agghiacciamento. E Wells in Inghilterra ottenne con siffatto processo di far agghiacciare l'acqua senza che questa perdesse punto del suo peso. È poi evidente l'uso a cui serve la paglia; egli è d'impedire che il calore passi dal suolo ai vasi di terra.

Alla primavera sogliono in molti paesi le notti serene essere funeste ai vegetabili, giacchè il freddo li fa gelare. Quindi in Francia corre il proverbio che *la Luna d'aprile brucia le erbe*; perocchè le notti più fredde sono le serene, quelle cioè nelle quali la Luna risplende (*).

(*) *Annuaire du Bureau des Longitudes pour l'an* 1828, p. 177.

Un altro effetto della irradiazione del calorico verso gli spazii celesti è quello della formazione della rugiada e della brina, le quali in altro non consistono che nella deposizione del vapore acqueo esistente nell'aria sopra la superficie de' corpi raffreddati per una tale irradiazione; il qual vapore ora si depone in rugiada ed ora in brina, secondo che la temperatura a cui esso si riduce è superiore o inferiore a 0°. Ma di ciò sarà più opportuno il parlare altrove, dopo che avremo ragionato dell' umidità sparsa per l'atmosfera.

CAPO VII.

DEGLI EFFETTI DEL CALORICO IN GENERALE, E IN PARTICOLARE DEGLI EFFETTI FISIOLOGICI.

583. Scorse ne' precedenti Capitoli le proprietà che il calorico ci presenta considerato in se medesimo, passeremo ora ad esaminare gli effetti che esso produce nelle varie specie di corpi.

Possono questi effetti ridursi a tre classi, vale a dire alle seguenti:

1.° Effetti fisiologici;
2.° Effetti chimici;
3.° Effetti fisici.

Noi ci occuperemo prima alcun poco intorno agli effetti fisiologici, importando grandemente la loro cognizione anche ad un Fisico.

Degli effetti fisiologici del Calorico.

584. Si riducono questi a due, cioè 1.° ad una particolare impressione sui sensi; 2.° ad una azione sulle funzioni vitali degli animali e de' vegetabili.

Dell'impressione sui sensi. Nel toccare i corpi o anche semplicemente nell'accostarci a loro, noi sogliamo

generalmente provare o una sensazione di *calore* ovvero una di *freddo*, secondo che la presenza di quei corpi produce sulla nostra cute un'elevazione o un abbassamento di temperatura; e diciamo che quei corpi sono nel primo caso *caldi*, nel secondo *freddi*. Noi estendiamo però i vocaboli di *calore* e di *freddo* anche allo stato che rende quei corpi atti a produrre le dette sensazioni; diciamo, p. e., che un dato corpo trovasi ad un alto grado di *calore*, che nelle regioni elevate dell'atmosfera domina un intenso *freddo*. In questo secondo significato *calore* e *freddo* sono quasi sinonimi di *alta temperatura*, e di *bassa temperatura*. È poi ovvio il vedere che il *calore*, anche quando s'intenda con questo vocabolo indicato uno stato dei corpi, è sempre una cosa ben diversa dal *calorico*: questo è la cagione, quello l'effetto: in un pezzo di ghiaccio e in una ugual massa d'acqua si può avere il medesimo grado di *calore* ossia la stessa temperatura, e vi sarà diversa quantità di *calorico*; e similmente una data quantità di *calorico* contenuta in un corpo di molta massa o di molta capacità specifica non vi produrrà che un grado di *calore* debolissimo, laddove in un altro corpo che abbia minor massa o minore capacità specifica potrà cagionarne uno fortissimo.

585. Tornando alle due sensazioni di calore e di freddo, queste non indicano colla loro qualità ed intensione un grado assoluto di temperatura, ma solamente uno relativo a quello cui i sensi sono avvezzi. Un medesimo corpo parrà caldo se verrà toccato da una mano che sia avvezza ad una bassa temperatura e che venga a riscaldarsi per questo contatto, e freddo se verrà toccato da una mano assuefatta ad una temperatura elevata. Si fa di ciò una facile esperienza con tre catini, l'un pieno di acqua calda, l'altro di acqua tiepida, il terzo di acqua fredda, essendo queste acque, p. e., a $+35°$ R., a $+20°$, a $+5°$. Tenendo al-

quando tempo l'una mano nell'acqua calda e l'altra nella fredda, e poscia trasportandole contemporaneamente ambedue nella tiepida, questa apparirà fredda alla prima mano e calda alla seconda (*). In generale noi dobbiamo ritenere che *nello stato di salute, quando un corpo esteriore innalza la temperatura o di una mano o di un' altra parte del corpo nostro al di sopra di quel grado cui essa parte è da qualche tempo avvezza, noi proviamo calore e giudichiamo quel corpo esteriore caldo, e tanto più caldo quanto più grande è l'innalzamento di temperatura che viene prodotto. All' incontro noi proviamo freddo e giudichiamo che sia freddo esso corpo esteriore, allorquando in qualche parte del nostro corpo esso cagiona un abbassamento di temperatura al di sotto di quel grado cui ella è accostumata.*

Ciò spiega perchè l'acqua de' pozzi nell'estate appaja fredda e nell'inverno calda, benchè ella sia sempre presso a poco ad una stessa temperatura, cioè, ne' nostri climi, dai 10° agli 11° R. sopra lo zero (da +12°,5 a +13°,7 C.); ed anzi, se non è molto profondo il pozzo, piuttosto nell'estate si riscaldi alcun poco e similmente alcun poco all'inverno si raffreddi. Nasce il primo di tali effetti dall'esser noi nella state accostumati ad una temperatura molto più elevata, di maniera che quell'acqua di fresco attinta abbassa la temperatura delle mani e delle labbra al di sotto del grado cui si è avvezzi, e che si riguarda come termine di confine fra il caldo e il freddo. Nell'inverno all'incontro essendo la superficie del nostro corpo abituata ad una temperatura assai più bassa, l'apparente termine di confine fra il caldo e il freddo trovasi recato assai più basso che non è la temperatura dell'acqua dei pozzi; e però questa ci scalda e ci par tepida.

(*) *Accum*, *Divertimento Chimico* tradotto da Giovanni Pozzi. Milano, 1819, t. I, p. 33.

I luoghi sotterranei nell'inverno ci paiono caldi e nella state freddi: e la ragione è la medesima; vi ha solo la differenza che in questo caso il nostro corpo si raffredda o si riscalda piuttosto per l'irradiazione e per l'intermedio dell'aria, anzichè pel contatto coi corpi.

Per la medesima ragione l'aria all'estate ci pare freddissima dopo un temporale accompagnato da grandine, e le mani intirizziscono se la temperatura discende sotto a +12°R.; laddove una tale temperatura non solo d'inverno la troviamo mite ma calda. Per la medesima cagione i primi freddi ci riescono più rigidi e i primi caldi più nojosi di quello che il termometro prometterebbe.

Racconta il celebre Ulloa che quando due viaggiatori, l'uno partito dal Porto di Guayaquil nel Perù e l'altro disceso da' monti delle Ande, vengono ad incontrarsi nel medesimo tempo in Tarigagua, sentono la temperatura di questo luogo affatto diversamente: quello che vien dai monti prova un tale caldo che ama vestirsi soltanto di vesti leggerissime; l'altro trova un'aria così rigida e un freddo così penetrante che si ricopre di vesti grossissime. Al primo l'acqua del fiume riesce sì calda che lo entrarvi gli tien luogo di bagno; all'altro quest'acqua medesima pare cotanto fredda che gli spiace tuffarvi la mano (*).

586. Perchè toccando un metallo ed un legno sentiamo il primo di gran lunga più freddo; e perchè riscaldando ugualmente entrambi, il metallo ci sembra al contrario assai più caldo?

I corpi inanimati che ci circondano sono per lo più a temperatura più bassa del nostro corpo, e toccati ci riescono freddi; non però tutti ugualmente, quand'anche esplorati col termometro mostrino la me-

(*) *Voyage au Pérou, Livre V, Chap. I, p.* 182, citato da Musschenbroek nella sua *Introductio ad Phil. Nat.* § 1664.

lesima temperatura; ma alcuni più, p. e. i metalli, le pietre, ed altri meno, p. e. i legni, le stoffe. Ciò dipende principalmente, come si è già accennato al § 476, dall' avere i primi una molto maggiore facoltà conduttrice, in forza di cui diffondono prontamente per tutta la loro massa il calorico tolto alla mano, e rimangono in quella lor parte che è stata toccata ancora freddi ed atti a sottrarre alla mano nuovo calorico; in cotal modo possono raffreddar la mano notabilmente e produrvi una sensazione di freddo alquanto viva. All' opposto i legni, come cattivi conduttori, non diffondono così facilmente per la loro massa il calorico che dalla mano viene comunicato alla loro superficie; perciò questo calorico vi si accumula, ed essa superficie divien presto inetta a sottrarne più oltre alla mano.

La stessa facoltà conduttrice dà pure ragione perchè i metalli se sono scaldati pajono più caldi dei legni che sono alla medesima temperatura. Ne' primi in fatti la parte toccata dalla mano, a proporzione che va cedendo a questa una porzione del proprio calorico, viene prontamente risarcita dal facile accorrimento dell' altro calorico esistente nel resto della massa metallica; talchè essa parte toccata anche dopo aver comunicato alla mano molto calorico non si trova gran fatto raffreddata e può proseguire a comunicargliene e riscaldarla grandemente: ma non è così de' legni, ne' quali la parte che tocca la mano e che perde calorico pel contatto della mano stessa, non viene con uguale facilità e prontezza rifatta della perdita, e però non può riscaldar la mano medesima cotanto come il metallo.

In questi effetti hanno però parte anche la massa e la capacità pel calorico; poichè se si hanno più corpi ugualmente conducenti e ugualmente freddi, quelli fra essi che avranno maggior massa o maggiore capacità dovranno a pari circostanze sembrare più freddi degli

altri, potendo sottrarre alla mano una quantità maggiore di calorico; e viceversa se sono caldi dovranno produrre in noi una sensazione di calore più viva.

Se poi il corpo di cui giudichiamo la temperatura è a qualche distanza dal contatto colla nostra mano, ha altresì parte nel nostro giudizio la facoltà emittente di esso (§ 529); perciocchè a proporzione che è più grande questa facoltà, più grande è altresì la quantità di calorico che il corpo è atto a togliere o a comunicare alla mano medesima.

In conclusione il grado di caldo o di freddo d'un corpo non viene giudicato dalla più o meno differenza fra la temperatura del corpo e quella della mano, ma bensì dal più o men grande riscaldamento o raffreddamento che vien prodotto nella mano medesima o in altra nostra parte. Se si avesse un corpo ad altissima temperatura, ma che fosse affatto incapace di trasmetter calorico per mancanza di facoltà conducente, e non potesse punto elevar la temperatura della mano, noi nol giudicheremmo nè caldo nè freddo. Similmente se un corpo fosse interamente privo di calorico, ma non potesse sottrarlo agli altri corpi per difetto di conducibilità, non ci parrebbe freddo per nessun conto; anzi ci sembrerebbe caldo, se impedendo col suo contatto quella perdita di calorico che suole naturalmente aver luogo nella mano, facesse accumulare su questa più calorico del consueto.

587. Sulla temperatura che si può sostenere da noi in diversi mezzi sono state fatte alcune prove dai signori Banks, Blagden e Solander. Essi trovarono che, con pochissima differenza dall'una persona all'altra, la mano può resistere

nel mercurio	a	+ 47° C., ossia a	+ 37°,6 R.
nell'acqua	a	+ 50°,5	+ 40°,4
nell'olio	a	+ 54°	+ 43°,2
nell'alcool	a	+ 54°,5	+ 43°,6 (*).

(*) *Bibl. Univ. Sciences et Arts*, t. XXXIV, p. 161.

Quando si riesca a impedire ne' liquidi il moto idrostatico, si possono in essi sostenere delle temperature molto più elevate. In una soluzione densa e viscida di colla animale io potei reggere ad una temperatura superiore a

$+64°,5$ C., ossia a $+50°$ R.

E in una mistura similmente densa e viscida di pece greca, trementina ed alcool, io potei sostenere colle dita senza il minimo incomodo una temperatura di

$+81°$ C., ossia di $+65°$ R.

E qui, come anche ne' risultamenti precedenti, s'intende di parlare di dita tenute nel liquido per un tempo indefinito, giacchè per breve tempo si può reggere a temperature assai maggiori.

L'assuefazione può molto ajutarci a sostenere le alte temperature; in fatti dopo parecchie prove nelle quali io mi sforzava di resistere colle dita al calore quanto più mi fosse possibile, messe le medesime dita nell'acqua pura, io trovai di poter reggere sino a

$+53°\,3/4$ C., ossia a $+43°$ R.

Entro la bocca noi possiamo soffrire delle temperature assai più elevate; p. e. si può ber caldo il caffè sino a $+55°$ R. (*), cioè a quasi 15° R. al di sopra della più alta temperatura a cui vi si può tenere la mano.

588. *Dell'azione sulle funzioni vitali.* Un calore moderato produce sulle funzioni vitali degli animali degli effetti utilissimi; le tiene tutte attive e l'animale vive prosperamente. Ma un calore più forte le mette in troppo grande attività, e pel troppo esercizio cagiona indebolimento e languore e uno stato di mal essere. Quando poi esso calore divenga eccessivo, se ne prova una sensazione dolorosa e insoffribile, e le

(*) Nella *Bibl. Univ. Sc. et Arts*, t. XXXIV, p. 161, si trova per fallo $+55°$ C., ma è per vero sbaglio, come ciascuno può riconoscere per propria sperienza.

parti che vi sono esposte ne rimangono offese ed ulcerate; e se l'effetto è o troppo intenso o troppo prolungato o troppo esteso sul corpo animale, ne succede la morte.

Il freddo fino ad un certo punto si limita a produrre una sensazione spiacevole, e un rallentamento ed intorpidimento delle funzioni, quindi una insensibilità delle membra e una tendenza invincibile al sonno; finalmente, se l'azion sua sia prolungata, produce la morte, o di alcune parti solamente o di tutto l'animale secondo che quest'azione è più o meno estesa. Vanno esposti a questo pericolo quelli che si avventurano a viaggiare sulle alte montagne ne' tempi d'inverno; e quanti infelici costretti dalle loro necessità a questi perigliosi viaggi verrebbero a perir miseramente, se in più luoghi uomini animati dalla religione e dall'umanità non dedicassero generosamente i loro giorni a raccoglierli e a soccorrerli! Per guarire questi uomini assiderati s'incomincia col porli qualche tempo nell'acqua gelata; dopo di che essi divengono atti a sostenere una temperatura più calda qual è quella di una stufa o d'un letto riscaldato: un calor più forte potrebbe in sulle prime riuscir loro funesto.

Se però l'azione del freddo non sia generale e continuata, ma in vece sia molto intensa od operi appena su d'una piccola parte del corpo, come avviene allorquando si tocca il mercurio gelato, in tal caso si prova una sensazione dolorosa quasi affatto simile ad una scottatura, e durando qualche tempo offenderebbe la parte al pari del fuoco, e produrrebbe cancrena. In questi casi, quando l'offesa sia fresca, vi ha un facile rimedio molto adoperato ne' paesi settentrionali. Allorchè alcune parti del corpo sono state prese fortemente dal freddo in guisa da poterne gravemente soffrire, si usa di coprire o di strofinare queste parti con della neve: con ciò si richiama presto in esse il calor vitale, e quando hanno acquistato una tempe-

ratura uguale a quella delle altre parti, si può esporle senza pericolo (come abbiam detto or ora delle persone assiderate) a una temperatura più elevata.

589. Noi adunque e tutti gli altri animali per poter vivere prosperamente dobbiamo trovarci dentro a certi determinati limiti di temperatura; fuori di questi mal si compiono le funzioni, e la vita riesce disagiata. Quel tratto poi della scala delle temperature il quale meglio conviene a ciascun animale varia assai dall'un animale all' altro; alcuni animali amano le temperature freddissime, p. e. l' orso bianco, la renna, e specialmente la volpe azzurra (*canis lagopus*) la quale non viene mai al di qua del grado 69° di latitudine; molti vivono meglio negli ardori cocenti dell'Affrica, p. e. il leone, la jena, ec.; alcuni non possono vivere fuori del loro clima, come a cagion d'esempio molti uccelli, obbligati fors' anche in parte dalla natura degli alimenti; altri possono adattarsi a molti climi, com'è l'uomo e diversi animali domestici. L'uomo, sebbene abbia alcune temperature che gli sono più comode delle altre (cioè quelle da +10° a +15° R., con qualche piccola differenza secondo il temperamento, l'età, ec.), può nulladimeno durare a vivere senza sentir grave danno dentro limiti di temperatura assai estesi, cioè almeno da 0° R. a + 25° R.; e se si tratti d'una breve durata di tempo può sostenere delle temperature anche assai più fredde e assai più calde. Riguardo alle temperature fredde se n'ebbe una prova ne' viaggi del capitano Parry, in uno de' quali si riconobbe che un uomo ben coperto di vesti può passeggiare senza inconveniente all' aria libera, quantunque il termometro sia a —46° C. (a —51° della scala di Fahrenheit). L' atmosfera però dev'essere affatto tranquilla; giacchè se viene a soffiare il minimo vento, sentesi sul volto un dolor cocente, seguíto ben tosto da un male di testa insopportabile (*). Riguardo alle temperature calde ne cite-

(*) *Annales de Chimie et de Physique* t. XXVII, p. 419.

remo degli esempii fra poco (§ 592). Questo vantaggio dipende dalla facoltà ben singolare che l'uomo ha insieme con molti altri animali, cioè con tutti i mammiferi e gli uccelli, di mantenere specialmente nell'interno una temperatura pressochè invariabile, comunque si cangi la stagione o il clima: una tale prerogativa fa sì che quando le esterne variazioni di temperatura non sieno molto grandi non possono esse produrre grave disturbo nelle funzioni interne.

La temperatura dell'uomo sano è dai +29°R. ai +30°R., e questa sì d'inverno che d'estate, sì nell'Europa che nell'Affrica, sì in una che in altra età, tanto in una che in altra razza d'uomini, tanto in fine in una maniera di vitto che in un'altra. In un gran numero d'osservazioni fatte da John Davy la più bassa temperatura che siasi trovata fu di +28°,6R. (35°,8C.), e la più alta di +31°,1R. (38°,9C.). Ed anche nelle malattie non vi ha molta alterazione, non aumentandosi nelle febbri che forse di 2°R. Per riscontrare questa temperatura si può collocare un termometro sotto la lingua e tenerlo fino a che rimanga stazionario. Ma anche nelle altre parti del corpo si ha la medesima temperatura, trattane l'estrema superficie della cute e le estremità e dove accorre minor copia di sangue.

Riguardo agli altri animali, i mammiferi hanno tutti presso a poco la medesima temperatura dell'uomo; gli uccelli hanno circa due, tre ed anche quattro gradi di più; i galli, p. e., arrivano fino a +35°R. (43,9C.): gli altri poi, cioè gli anfibii, i pesci, gli insetti, ec., hanno una temperatura pochissimo diversa dall'ambiente in cui vivono (*).

590. Egli è da credere che sia molto importante pel loro benessere questa particolare interna temperatura

(*) Si veggano i risultamenti delle osservazioni del sig. John Davy nella *Fisica* del Pouillet, t. 1, p. 411.

degli animali. Ma in qual modo ella si mantiene ad onta della continua perdita di calorico che essi animali fanno e pel contatto degli altri corpi e per la irradiazione, e ad onta molte volte di una temperatura esteriore molto più elevata? — La natura ha ottenuto ciò provvedendo gli animali di mezzi per isviluppare calorico e per conservarlo, e di mezzi per dissiparlo ov' esso venga ad accumularsi eccessivamente.

A svilupparlo serve principalmente la respirazione. Essendosi analizzate le sostanze aeriformi che vengono espirate, e messe a confronto con quelle inspirate, si è riconosciuto che una parte dell' ossigeno che entra nei polmoni rimane assorbito, venendo in suo luogo emesso del gas acido carbonico e del vapore acqueo. Ora egli sembra che l'ossigeno assorbito, o all'atto stesso dell' inspirazione o dopo, venga a combinarsi col carbonio del sangue e forse con una parte dell' idrogeno, e succeda così una specie di lenta combustione da cui si produca una quantità notabilissima di calorico. Ad avvalorar meglio la cosa si sono fatte da varii autori delle diligenti sperienze, donde venne provato che col rendere più difficile e più lenta la respirazione di un animale, sia collocandolo in una positura incomoda, sia rarefacendo l' aria ch' esso dee respirare, la sua temperatura si abbassa.

Sembra però da alcune recenti osservazioni del signor Dulong che la sola respirazione non possa dar ragione di tutto quanto il calorico che si sviluppa negli animali. Avendo egli trovato la maniera di misurare la totale quantità del calorico che viene sviluppato da un animale dentro un dato tempo, ed avendo calcolato quella che può venire prodotta dalla respirazione, trovò che quest' ultima non arriva ad uguagliare la prima, ma ascende soltanto a otto o nove decimi di essa. L' altro decimo o gli altri due decimi pajono, almeno in parte, derivare dalle combinazioni e dalle de-

composizioni delle sostanze che hanno luogo nella digestione nella nutrizione e nelle secrezioni, combinazioni e decomposizioni le quali, sebbene non sieno opera semplicemente delle affinità chimiche, è però da credere che diano origine anch'esse ad uno sviluppo di calorico. E in fatti veggiamo in noi medesimi che digiuni ci sentiamo più freddi che essendo nutriti (1).

Un'altra sorgente del calore animale, sebbene non continua e forse non così essenziale all'economia animale, si è il moto; con questo, sia perchè le parti si strofinino insieme, sia perchè si eseguiscano più rapidamente le diverse funzioni interne atte a sviluppare calorico, certo è che gli animali si riscaldano. Ella è cosa notissima che lavorando o camminando noi abbiamo molto maggior calore, che rimanendo in quiete.

Questo calore poi viene distribuito in tutte le parti del corpo per mezzo della circolazione del sangue: il sangue arterioso uscendo dal cuore più caldo trascorre velocemente le arterie e tutte le loro minute ramificazioni, e retrocede quindi per le vene, riscaldando tutti i vasi che percorre e tutte le parti presso cui passa, e ritorna quindi al cuore più freddo per ripassare nei polmoni e riacquistar nuovo calore. Ella è però sì pronta la circolazione, che la temperatura del sangue venoso non è che di circa un grado centigrado più bassa di quella del sangue arterioso (2).

591. Oltre ai mezzi di produrre calorico la natura ha somministrato altresì agli animali que' di conser-

(1) V'ha chi attribuisce il calore animale specialmente alle azioni elettriche dalle quali sono accompagnate le continue operazioni chimiche che si effettuano nel sistema animale. Questa sarebbe la causa *remota* del fenomeno, come pure ella potrebbe essere la cagione del calore che si sviluppa nella combustione e nelle altre combinazioni che avvengono fuori de' corpi animali. Però quest'opinione, benchè non manchi di plausibili ragioni, è ancora poco sicura.

(2) Thénard, *Chimie*, 1821, t. III, p. 671.

varlo. Alcuni ella ha rivestiti di peli, di folta lana, di piume; altri, quali sarebbero le balene, destinate a vivere nelle agghiacciate regioni polari e bisognose anch'esse siccome mammifere di una calda temperatura, ella ha provveduti di un grosso strato di grasso che li riveste tutto all'intorno e loro impedisce, come poco conduttore, la perdita del calorico. Ed è a notarsi che i peli sono stati dalla natura adattati alla stagione ed al clima: all'inverno sogliono gli animali averli più fitti e più lunghi che non nella state; il porco che nei paesi caldi non è coperto che di setole, nelle regioni settentrionali ha altresì una borra fina ed arricciata che sta rasente la pelle. Noi soli fummo lasciati nudi ed esposti alle ingiurie atmosferiche; ma per grande compenso ci fu concessa la ragione, colla quale sappiamo provvedere e a questo e ad infiniti altri bisogni.

592. Questi utilissimi provvedimenti però ci potrebbero talvolta divenire nocevoli e funesti, se non ve ne fossero altri contrarii, co' quali il calorico troppo accumulato si viene a dissipare. Quando noi o gli altri animali ci trovassimo in luoghi molto caldi dove non potessimo perdere nè pel contatto cogli altri corpi nè per irradiazione quella quantità di calorico che venisse a prodursi dentro di noi, o quando fossimo astretti per più ore a moti violenti co' quali venisse a svilupparsi una quantità di calorico molto più abbondante dell'ordinario, agevolmente ne soffriremmo grave danno ed anche la morte; quindi è che non si potrebbero sostenere nè le calde stagioni, nè i caldi climi, nè la fatica. Ma vi ha un altro provvedimento non meno saggio che ci ripara da questi danni, ed è la traspirazione. Vengono con questa recate alla superficie del corpo delle sostanze liquide, le quali arrivando ivi a contatto dell'aria evaporano, rendono latente molto calorico, e raffreddano la cute. E questo processo si rende più attivo appunto allora che n'è maggiore il

bisogno, vale a dire quando è più elevata la temperatura della persona. Correndo, affaticandoci, ritrovandoci in luoghi molto caldi, la traspirazione è abbondantissima; a segno che il più delle volte non può tutta passare immantinente in vapore, ma si ferma allo stato liquido sulla superficie della cute, e forma il sudore: questo però non lascia di evaporare, e di arrecare fresco e refrigerio alle membra. Di qui è che essendo l' aria asciutta noi possiamo resistere non solo quando ella sia più calda del nostro corpo, ma perfino quando ella sia più calda dell' acqua bollente: i sigg. Banks, Blagden e Fordyce giunsero a sostenere una temperatura di circa +100° R. (1). Le vesti ajutano a resistere a questi forti calori, impedendo l' immediata comunicazione alla cute (2).

593. A compimento di questi cenni sugli effetti fisiologici del Calorico, aggiungeremo che anche le piante sono soggette alla sua azione, e che anzi la loro vita pende interamente da esso. Ad un calore moderato si nutrono, germogliano, fioriscono, fruttificano; un ca-

(1) Thénard, *Chimie*, t. III, p. 672. — Edwards, *De l'influence des Agens physiques sur la vie*. Paris, 1824, p. 371. In quest'ultima opera si possono vedere diverse importanti sperienze fatte su questo argomento.

(2) Narrasi da Tillet (*Mémoires de l'Académie des Sciences*, 1764, p. 185) che le serventi del forno feudale della città di La Rochefoucault nell'Angoumois potevano reggere entro questo forno ad una temperatura di 112 gradi del termometro di Réaumur. Siccome però questi gradi erano del termometro originario di Réaumur non ancora corretto da Deluc, così Edwards nell'opera or ora citata (p. 368) ammettendo che l' ebullizione dell' acqua corrisponda a +87 di tali gradi, riduce la temperatura del suddetto forno a gradi 103 della scala detta attualmente di Réaumur, ossia del termometro corretto da Deluc. Altri ammettono in vece che nell' antico termometro di Réaumur l'ebullizione dell'acqua corrisponda a gradi 100,4 (Deluc, *Recherches sur les modifications de l'atmosphère*, Paris, 1784, § 448, *b*): in tal caso la temperatura del citato forno non ascenderebbe che a +88° del termometro di Deluc, o come abusivamente si dice *a scala di Réaumur*.

lore eccessivo le brucia; un freddo intenso le intorpidisce e le uccide.

Degli effetti chimici in genere.

594. Degli effetti chimici del Calorico abbiamo già parlato nella seconda sezione; qui non faremo che raccogliere e indicare quanto si è già detto, cioè che questo agente promove le soluzioni (§ 269), ma talora anche le contraria e determina le precipitazioni, ch' esso in generale esalta le affinità chimiche e promove le combinazioni (§ 302), ma sovente altresì le disunisce, e slega l'un dall'altro i componenti (§ 306).

Degli effetti fisici in genere.

595. Gli effetti fisici del Calorico sono molto più numerosi. Esso rende, in generale, minore la tenacità dei corpi, rende alcuni solidi più molli (p. e. il vetro), fa alcuni più malleabili (p. e. il ferro), e in genere diminuisce l'energia dell'attrazione molecolare (T. I, § 147); ha influenza nei fenomeni elettrici e nei fenomeni magnetici; determina nei corpi dei cangiamenti di colore ed anche li rende luminosi; infine (e son questi i due effetti principali) aumenta il volume dei corpi medesimi e li fa cangiare di stato. De' primi di tali effetti abbiamo già parlato quanto per noi basta nel primo volume; dell'influenza nei fenomeni elettrici e magnetici ci riserbiamo a parlare allorchè verremo a trattare espressamente di questi fenomeni; sul cangiamento di colore che il calorico talora determina, e sulla sua facoltà di rendere luminosi i corpi faremo un cenno fra non molto, dopo che avremo parlato de' termometri. Ora ci fermeremo a ragionare alquanto a lungo intorno alla dilatazione e ai cangiamenti di stato, sviluppando più ampiamente quel poco che se n' è già detto nel trattato dell'Attrazione (T. I, § 147 e seg.).

CAPO VIII.

DELLA DILATAZIONE DE' CORPI

Della Dilatazione dei solidi.

596. *Nozioni generali.* La dilatazione dei corpi solidi si può riguardare da due aspetti, cioè o riguardo al volume e allora dicesi *dilatazione cubica*, ovvero riguardo a una sola dimensione, p. e. rispetto alla sola lunghezza, e allora si chiama *dilatazione lineare*.

La dilatazione cubica, quando si tratti di corpi non cristallizzati e riscaldati di pochi gradi, è prossimamente tripla della lineare; vale a dire, paragonando l'aumento del volume col volume primitivo, e dividendo il primo pel secondo si ottiene una frazione tre volte più grande, che se si divide l'aumento della semplice lunghezza per la lunghezza primitiva. Se per un esempio la lunghezza cresce di $1/1000$, il volume si aumenta di $3/1000$.

In fatti nei corpi non cristallizzati tutte le dimensioni si aumentano nella medesima proporzione; se la lunghezza si aumenta di $1/1000$ della grandezza primitiva, crescono pure di $1/1000$ la larghezza e la profondità; e così la figura del corpo si conserva simile a quella di prima. Ora la Geometria insegna che i volumi dei solidi simili sono nella ragione dei cubi delle dimensioni omologhe. Se adunque una delle dimensioni del corpo venga pel calore a ingrandirsi come 1 a $(1+1/n)$, il volume si ingrandirà come 1 a $(1+1/n)^3$, ossia come 1 a $(1+3/n+3/n^2+1/n^3)$; e siccome per pochi gradi di riscaldamento suole la $1/n$ essere una quantità piccolissima, e le quantità $3/n^2$, $1/n^3$ possono trascurarsi a confronto della $3/4$, così

possiamo dire che il volume si aumenta prossimamente come 1 a $(1+3/n)$. Essendo, per esempio, la dilatazione lineare di $1/1000$, il volume s'aumenta rigorosamente come 1 a $(1{,}001)^3$, cioè come 1 : 1,003003001, e prossimamente come 1 : 1,003.

597. Ciò premesso, se noi paragoniamo la dilatazione cubica dei corpi solidi con quella dei liquidi e dei fluidi aeriformi, noi troviamo ch'ella è molto minore e dell'una e dell'altra; nel vetro, a cagion d'esempio, la dilatazione cubica da 0 a $+1°$C. non è che $1/7$ di quella del mercurio, e $1/145$ di quella dell'aria.

Questa dilatazione poi, sia cubica sia lineare, è molto diversa dall'un solido all'altro. Oltre a ciò ella non è sensibilmente uniforme che dentro intervalli poco estesi della scala delle temperature; paragonando, p. e., la dilatazione che ha luogo da 0° a $+1°$C. con quella da $+100°$C. a $+101°$C., vi si trova già qualche piccolo divario; e secondo Dulong e Petit ella è tanto maggiore, per un determinato numero di gradi di riscaldamento indicati da un termometro ad aria, quanto più la temperatura è elevata (*).

598. *Metodi per misurare la dilatazione de' corpi solidi.* Furono immaginati diversi metodi per misurare questa dilatazione. Uno si è quello adoperato da Lavoisier e Laplace in una serie di esperienze ch'essi fecero insieme. Usavano essi di una vasca d'acqua che andavano gradatamente riscaldando, e dentro a cui ponevano le barre metalliche che intendevano di cimentare, appoggiandole dall'una delle estremità contro un punto fisso, affinchè l'allungamento delle barre stesse si manifestasse tutta dall'estremità opposta. Stava appoggiato a questa seconda estremità un braccio di una leva angolare, la quale dall'altro braccio portava un cannocchiale dirizzato verso una lontana scala graduata, e che mostrava nel mezzo del campo or

(*) *Annales de Chimie et de Phys.* t. VII, p. 141.

l'una or l'altra divisione secondo che veniva più o men piegato dalla dilatazione del metallo (1).

599. Ramsden in luogo di ingrandire per mezzo di movimenti secondarii l'effetto della dilatazione, il che poteva patire qualche inconveniente a cagione degli sfregamenti e dell'elasticità de' metalli, procurava di rendere più delicato il modo di misurarlo. Faceva egli che dalle estremità della barra riscaldata sorgessero perpendicolarmente fuori del bagno due aste, e misurava diligentemente per mezzo di microscopii l'allontanamento delle sommità di queste (2).

600. Dulong e Petit immaginarono per questo oggetto parecchii metodi. Uno fra questi, il quale servì per la dilatazione del vetro, è il seguente. Riempirono essi di mercurio un tubo di vetro di molta capacità e terminato superiormente con un altro tubo più sottile ed aperto. Espostolo quindi al calore, osservavano quanto mercurio ne usciva, e dalla cognizione della dilatazione del mercurio (vedi più innanzi al § 613) determinavano col calcolo quanto avrebbe dovuto uscirne se il vaso fosse stato inestensibile, e la differenza mostrava quanto fosse cresciuta la capacità del vaso per quell'aumento di temperatura. E siccome questo aumento di capacità è uguale alla dilatazione cubica di una massa di vetro, che sia atta a riempire esattamente la capacità medesima, così con questo metodo venivasi a determinare la dilatazione cubica del vetro, da cui facilmente si deduceva poi la dilatazione lineare. I risultamenti ottenuti da questi autori su tubi di vetro comune di varie grandezze e di varie fabbriche sono pressochè identici; ecco quelli riguardanti la dilatazione fra 0° e +100°C. (3).

(1) Biot, *Traité de Physique expérimentale et mathématique*. Paris, 1816, t. I, p. 151.

(2) Veggasi la descrizione di questo eccellente metodo nelle *Trans. Phil.* pel 1785, p. 161; ovvero nel Gehler's *Physikalisches Wörterbuch*, etc. t. I, p. 566.

(3) *Annales de Chimie et de Phys.* t. VII, p. 138.

Dilataz. apparente del mercurio fra 0° e +100° C. $1/64,78$.
Dilatazione vera del mercurio . . . . . $1/55,50$.
Dilatazione cubica del vetro (1) . . . . . $1/387$.
Dilatazione lineare del medesimo . . . . . $1/1161$.

601. Il metodo seguente fu da essi usato per misurare la dilatazione del ferro. Posero un cilindro di ferro di conosciuto volume dentro ad un tubo di vetro; quindi chiusero il tubo lasciando solamente aperta una piccola cannetta dalla quale poterono riempirlo di mercurio, e per cui poteva uscir nuovamente una parte di questo, quando veniva esposto l' apparecchio al calore. Ciò posto, conoscevano essi il volume primitivo del ferro, il volume del mercurio introdotto che si determinava dall' aumento del peso, e la capacità del vaso che era la somma di questi due volumi: conoscevano altresì di quanto si dilatava il vaso per un dato aumento di temperatura, e di quanto dilatavasi il mercurio; potevano perciò determinare quanto mercurio avrebbe dovuto uscire nel caso che il ferro fosse stato inestensibile; e quello che usciva di più era la misura della dilatazione cubica del pezzo di ferro.

Servironsi dello stesso processo anche pel rame, facendone ossidare leggiermente la superficie per renderlo inattaccabile dal mercurio (2).

602. Un terzo metodo ch' essi adoperarono fu di preparare due barre di diversa natura, dell' una delle quali si conoscesse la legge di dilatazione e l' altra fosse quella da sottoporre alla sperienza, di unirle saldamente insieme nell' una delle estremità, lasciandole libere dall' altra, e di dedurre dallo allontanamento delle estremità libere la differenza fra le dilatazioni delle due barre. Se la barra posta a cimento era la più dilatabile, si aggiungeva questa differenza alla dilatazione

(1) Vedi più innanzi nella nota al § 615.
(2) *Annales de Chimie et de Phys.* t. VII, p. 140.

già conosciuta dell' altra barra; nel caso contrario questa differenza veniva detratta.

Con questo metodo verificarono essi la dilatazione già trovata del rame, paragonando una barra di questo metallo con una verga di vetro. Determinarono altresì col metodo medesimo la dilatazione del platino paragonando questo metallo col rame (1).

Si troverà alla fine del capitolo una tavola de' risultamenti ottenutisi con questi e con altri metodi riguardo alle sostanze che maggiormente importano per gli usi della vita.

603. *Anomalie di diversi corpi.* Riguardo alla dilatazione de' corpi pel calore vi hanno parecchie anomalie che gioverà far notare.

Accenneremo primieramente la bella osservazione del sig. Mitscherlich, che le sostanze cristallizzate non si dilatano similmente per tutti i versi, e che anzi può avvenire che in alcune direzioni si dilatino mentre in altre si restringono. Si comportano a quest' ultimo modo i cristalli d' Islanda; si dilatano essi in forza del calore nella direzione dell' asse del romboide primitivo, e in vece si restringono perpendicolarmente a quest' asse, tendendo così il romboide da ottuso a divenire cubico (2). È probabile che questa proprietà sia comune a tutte quelle sostanze cristallizzate le cui forme primitive non sono de' solidi regolari; p. e. a quelle ove la forma primitiva è un parallelepipedo diverso dal cubo, o un ottaedro irregolare, o un prisma esaedro, o un dodecaedro a doppia piramide esagona.

604. Quando il vetro dopo essere stato esposto ad una elevata temperatura torna a raffreddarsi, non riacquista esattamente quelle medesime dimensioni che aveva dapprima corrispondentemente allo stesso grado di calore, ma conserva per qualche tempo un' alterazione la quale egli non perde che a poco a poco nella durata di più mesi.

(1) *Annales de Chimie et de Phys.* t. VII, p. 140.
(2) *Ibid.* an. 1824, t. XXVI, p. 222.

Fra i diversi fenomeni che ci fanno palese una siffatta alterazione, noi ne citeremo primieramente uno osservato dal celebre Hersehel, siccome quello nel quale non si vede aver parte nessun' altra cagione. Riconobbe egli adunque in certe sue sperienze che ponendo un ferro caldo a piccola distanza dalla posterior superficie di uno specchio di vetro amalgamato di figura concava che egli usava in uno de' suoi telescopii, la distanza focale di esso specchio si accorciava, si allungava in vece ponendo il ferro dinanzi; e queste variazioni cessarono bensì col ritirarsi del ferro caldo, ma però l'azione di questo *produsse ne' fochi delle diverse parti dello specchio una discordanza che rimase lungo tempo dopo* (1). Questo difetto non appariva negli specchii metallici, i quali essendo stati sottoposti alle stesse prove, ed avendo mostrate delle simiglianti alterazioni nelle distanze focali, dopo lasciati per cinque minuti a se medesimi, riacquistarono lodevolmente la regolarità della loro figura (2).

Un' altra osservazione assai importante del medesimo genere è quella stata fatta primieramente dal canonico Bellani riguardo allo *spostamento dello zero* ne' termometri. Ha osservato questo Fisico che se un termometro a mercurio viene graduato poco dopo soffiata la bolla ed introdotto il mercurio, passati alcuni mesi l'indicazione 0°R. cioè del punto della fusione del ghiaccio non è più esatta, ma la colonna del mercurio dello strumento posto nel ghiaccio che si fonde s'arresta alcun poco al di sopra del punto seguato collo 0°; e la differenza va col tempo crescendo, e può arrivare facilmente a mezzo grado di Réaumur e talora anche ad un grado; però dopo circa un anno cessa d'aumentarsi, talchè dopo altri quattro o cinque

(1) *Biblioth. Britan. Sciences et Arts*, t. XXVII, p. 103.
(2) *Ibid.* p. 104.

anni si trova essere ancora sensibilmente la medesima (1). Potrebbe dubitarsi con Flaugergues che la causa di questo fenomeno non fosse che la pressione atmosferica la quale preme la superficie esterna della bolla più che non fanno internamente il mercurio e la poca aria contenuta. Si può infatti supporre che questa pressione oltre al tenere costantemente ristretta la bolla in una minore capacità fino dal bel principio dacchè lo strumento è formato (il quale effetto si può riconoscere ponendo lo strumento medesimo nel voto pneumatico, ed osservando l'abbassamento ch'esso continua a mostrare nella colonna del mercurio anche dopo cessato il raffreddamento istantaneo prodotto dalla dilatazione dell'aria, abbassamento che dipende dal riprendere che fa la bolla il suo maggiore volume primitivo per la rimossa pressione atmosferica), si può, dico, supporre che oltre a questo effetto essa pressione produca a poco a poco e fino ad un certo punto uno smovimento nelle molecole, e una successiva e permanente diminuzione di capacità, tale che potrebbe manifestarsi anche nel caso che si volesse togliere la compressione. Il Bellani però si è assicurato che questa pressione non può essere causa del fenomeno, se non forse per una piccola parte, avendo riconosciuto che esso fenomeno ha luogo anche in que' termometri ove il tubo non è stato superiormente chiuso, e dove per conseguenza, anzichè una diminuzione di capacità, dovrebbe avvenire un allargamento in forza della pressione operata dall'indentro all'infuori dal mercurio contenuto nello strumento (2). Meno poi si potrebbe attribuire il fenomeno, come taluno dubitò (3), ad

(1) *Dell'incertezza nel determinare il punto del ghiaccio ne' termometri derivante da una nuova imperfezione scoperta ne' medesimi*, nel Giornale di Fisica di Pavia, anno 1808, p. 429 e seg.

(2) *Ibid.* p. 435; Giornale suddetto, anno 1823, p. 280.

(3) Pouillet, *Élémens de Physique*, t. I, p. 251.

una certa quantità di aria la quale si sciogliesse o si insinuasse fra i pori del mercurio aumentandone il volume; perciocchè il medesimo Bellani dimostrò con molte prove che il mercurio non può assorbire in nessuna minima quantità nè aria nè acqua nè alcool nè acido solforico nè acido nitrico, ec. (1). La causa che questo Fisico assegna a un tale fenomeno, e la quale se non la sola è al certo la principale, si è la seguente.

Il rapido passaggio che soffre il vetro in qualunque genere di lavoro dalla temperatura della sua fusione a quella dell' atmosfera, non permette che le sue diverse molecole prendano quelle posizioni, che diremo naturali, le quali sarebbero volute dalle leggi della cristallizzazione, e nelle quali tutte le attrazioni elementari che operano su ciascuna molecola rimarrebbero equilibrate; ma fa sì che queste molecole vengano abbandonate dal calorico in uno stato forzato, in cui queste elementari attrazioni non sono in certa guisa soddisfatte, ma anzi sollecitano continuamente le molecole medesime verso le posizioni naturali menzionate (2). E benchè lo stato di solidità a cui il vetro si trova obblighi queste molecole a rimanersene in cotali posizioni forzate, non lasciano esse per questo di accostarsi insensibilmente alle suddette posizioni naturali; conseguenza del quale movimento è una piccola e lenta diminuzione di capacità delle bolle. A questa causa la quale sarebbe la sola se mancasse all' esterno delle bolle la pressione dell' atmosfera e all' interno la pressione del mercurio contenuto, si aggiunge altresì nello stato reale delle cose un qualche effetto dipendente da queste due cause, un effetto cioè operato dalla interna pressione del mercurio se i tubi sono aperti, e un effetto contrario prodotto

(1) *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1823, p. 20 e seg.
(2) Giornale medesimo, anno 1808, p. 432.

dall' eccesso della esterna pressione dell' aria se i tubi sono chiusi; le quali due cause tendono l' una a diminuire l' effetto proprio delle vicendevoli attrazioni delle molecole, e l' altra ad aumentarlo.

Nella costruzione adunque de' termometri a mercurio è necessaria l' avvertenza di non segnarvi lo *zero* nè graduarli, se non dopo parecchi mesi o dopo un anno dacchè sono stati riempiuti. Ma anche con questa precauzione non si può essere sempre sicuri dell' esattezza d' un termometro; poichè esso non rimarrà esatto se non fino a tanto che non venga esposto ad elevate temperature. In fatti se verrà tenuto per alcuni minuti nell' acqua bollente, rimesso di poi nel ghiaccio fondentesi non si terrà più la colonna del mercurio al preciso 0° della scala di Réaumur o di quella centigrada, ma scenderà di tre o quattro decimi di un grado di Réaumur al di sotto di 0°. E la differenza sarà ancora maggiore, se lo strumento sarà stato tenuto nell' acqua bollente per un tempo più lungo, e. g. per una mezz'ora o per un' ora, come avvertì il *sig.* Giacomo Bertoncelli di Verona (*); però il divario non potrà superare 1°R. A poco a poco poi tornerà la nuova irregolarità a diminuire, innalzandosi la colonna del mercurio alla maniera de' termometri novellamente costrutti. Di qui la necessità di un' altra avvertenza, di quella cioè di segnare ne' termometri prima lo *zero* e poi il punto dell' ebullizione dell' acqua, e di lasciarli poscia alcuni mesi in riposo prima di usarli. Nè solo per la temperatura dell' acqua bollente il termometro si sconcerta, ma ben anche per qualsivoglia altra temperatura più bassa; p. e., se un termometro a gradi minutamente suddivisi il quale sia stato lungo tempo alle temperature vicine a 0°, verrà subitamente portato a +30°R. e quindi messo subitamente nel ghiaccio che si fonde, esso si terrà $^2/_{100}$ ovvero $^3/_{100}$ di un grado di Réaumur

(*) Bellani, nel *Giornale di Fisica di Pavia*, an. 1823, p. 281.

più basso dello 0°. La cagione poi di siffatte alterazioni è evidentemente uno spostamento o sconcerto avvenuto per lo riscaldamento nelle molecole del vetro, le quali non tornano ad aggiustarsi o ricomporsi fra loro se non lentissimamente nella durata di qualche mese. In conseguenza di tutto questo, ogni volta che si abbia ad usare un termometro a mercurio in qualche delicata sperienza sarà bene verificarlo col mezzo del ghiaccio pesto inzuppato d' acqua, se già non si abbia certezza della sua bontà per prove fatte da poco tempo.

Questi fenomeni, quantunque per necessità abbiano luogo anche ne' termometri a spirito di vino, sono però in essi molto meno riconoscibili; giacchè essendo questo liquido per lo meno cinque volte più dilatabile del mercurio, l' incostanza dello zero in questi termometri è almeno cinque volte minore (1).

Spiace che queste osservazioni non siano state conosciute fuori d' Italia anche imperfettamente se non da poco tempo; ciò in fatti sparge del dubbio sulla precisione di molte sperienze importantissime eseguitesi recentemente da diversi celebri autori (2).

605. Prova un effetto simile anche l' acciajo, quando da un' alta temperatura si faccia passare rapidamente ad una assai bassa; nell' acquistare con questo processo la tempera egli prende altresì delle dimensioni alquanto maggiori che se si fosse lasciato raffreddare lentamente (3). Dal che avviene che i pezzi d' acciajo dopo temprati non entrano più in quei buchi ove prima potevano; e se si temperano mentre stanno entro a pezzi d' altro metallo incapace di tempera, vi

(1) Lettera del Bellani al Conte Dandolo sull' uso degli strumenti necessarii al governo de' bachi da seta. Milano 1818, presso il Sonzogno, a p. 7.

(2) Tali sono, p. e., le sperienze di Dulong e Petit sul raffreddamento de' corpi, come abbiamo notato a' § 508 e 533; e tali altresì quelle de' medesimi autori sulla dilatazione del vetro, e su quella de' corpi cimentati entro vasi di vetro.

(3) Biot, *Traité de Phys.* t. I, p. 513.

si trovano di poi in uno stato estremamente forzato, come se fossero stati introdotti a forza in fori troppo angusti.

Presenta un'altra singolarità l'acciajo; ed è che a differenza degli altri metalli la sua dilatabilità va diminuendo coll'aumentarsi delle temperature, per lo meno insino a $+65°$ (1), vale a dire che misurandone separatamente le dilatazioni da o a $+1°$ C., da $+1°$ a $+2°$, da $+2°$ a $+3°$, ec., queste vanno gradatamente decrescendo. Viene ciò attribuito all'essere l'acciajo temperato più dilatabile del non temperato, ed al perdere esso gradatamente la tempera mediante il riscaldamento.

606. Secondo sperienze instituite pochi anni sono da Pictet, anche il ferro dolce esposto a subitanee variazioni di temperatura non ritorna prontamente alle primitive dimensioni, ma si comporta anch'esso alla maniera del vetro (2): e forse queste variazioni subitanee producono lo stesso effetto eziandio in qualche altra sostanza.

Oltre a questo si osserva nella dilatazione del ferro una qualche differenza secondo le sue diverse qualità, il che si nota pure nel vetro e in altre sostanze. Il perchè, quando importa grandemente di conoscere la precisa dilatazione de' corpi che si adoperano, come allorquando s'hanno a misurare delle *Basi* per delicate operazioni trigonometriche, giova ricercarne la dilata-

(1) Laplace e Lavoisier citati da Biot nel suo *Traité de Physique*, t. I, p. 157. Non si dice però se i gradi qui indicati sieno della scala di Réaumur o di quella centigrada.

(2) *Bibl. Univ.* t. I, p. 199. Altri esempii di lenti moti intestini nelle molecole del ferro e di qualche altra sostanza così dopo un cangiamento di temperatura come in altre circostanze, si possono vedere citati dal Bellani nel *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1823, p. 218. Chi poi volesse vedere la questione trattata in tutta la sua generalità, potrebbe leggere le interessanti *Richerche sul moto molecolare de' solidi* del conte Domenico Paoli stampate a Pesaro dal Nobili l'anno 1825.

zione con esperienze dirette, senza fidarsi ai risultamenti delle esperienze altrui (1).

Trattene le suddette e forse poche altre eccezioni, sembra dalle sperienze di Laplace e Lavoisier, che i metalli e le altre sostanze solide si restringano col raffreddamento a quelle stesse dimensioni che avevano avanti d' essere scaldate (2).

607. Un'altra singolarità, la quale non si presenta già nel raffreddamento ma bensì nel riscaldamento, è quella che mostrano le argille. Queste allorquando vengono riscaldate, in luogo di dilatarsi si restringono, e quello che è più strano, conservano il restringimento ricevuto anche dopo che si sono tornate a raffreddare. Pei bassi gradi di calore questo fenomeno si attribuisce all' acqua che rimane nell' argilla dopo impastata e seccata, e che pel calore se ne fugge in istato aeriforme; e in fatti si trova che il peso diminuisce. Ma questa ragione per le temperature assai elevate non vale più; e siccome la diminuzione di volume continua anche in queste, così per ispiegarlo si ammette che avvenga una più intima unione fra i componenti che meccanicamente misti formano l'argilla, e de' quali i principali sono l'allumina e la silice.

Quando però un pezzo d'argilla stato esposto a un forte calore e quindi lasciato raffreddare, torna di nuovo ad essere scaldato, esso, in sino a che non sia giunto all' alta temperatura antecedentemente provata, si dilata al pari di tutti gli altri corpi (3).

Questa proprietà ha dato origine ad uno strumento utile alla determinazione delle temperature elevatissime, cioè al *Pirometro* di Wegdewood. Esso consiste: 1.° in un canale di sezione rettangolare praticato in

(1) Augustin nel Gehler's *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, t. I, p. 570. — Laplace e Lavoisier nel *Traité* di Biot, t. I, p. 157.

(2) Laplace e Lavoisier, *ibid.* p. 156.

(3) Leslie nella *Bibl. Britan. Scienc. et Arts*, t. LV, p. 265.

una tavoletta, il quale dall' una estremità all' altra va gradatamente stringendosi, ed è segnato nella sua lunghezza da una serie di diversi gradi i cui numeri crescono dalla banda ov' esso si fa più stretto; per comodità di spazio si fa per lo più doppio, in modo che l'una metà cominci con quella larghezza con cui l'altra finisce; 2.° in una serie di cilindretti d'argilla tutti uguali, i quali sono quelli che esposti a qualche elevata temperatura, servono a farla conoscere per mezzo dell' accorciamento che vi soffrono. Perocchè ritirati da quel calore e lasciati raffreddare, si introducono nel canale per traverso, ed essi vi entrano più o meno cioè fino all' uno o all' altro grado della scala, secondo che sono stati esposti a più o meno alta temperatura. Conviene poi far uso ogni volta di nuovi cilindretti, giacchè quelli che hanno servito una fiata non son più buoni se non nel caso che si vogliano usare per una temperatura ancor più elevata. Cimentandoli a temperature più basse essi si comportano, come si è veduto, alla guisa degli altri solidi, *dilatandosi* pel calore e restringendosi pel freddo.

Avvertiremo però che questo strumento è ancora lontano dall' esser perfetto, non sapendosi con precisione quanto vagliano i suoi gradi in paragone di quelli de' termometri ordinarii, e nemmeno essendo noto se il loro valore sia il medesimo a tutte le temperature.

608. Si restringono altresì pel calore un gran numero di sostanze animali: la carta pergamena per esempio presentata al fuoco s' incurva rendendosi concava dalla banda del calore; ma qui tutto dipende dal partirsi dell' umidità pel quale le parti si ravvicinano.

609. I legni esposti al freddo talora si allungano di qualche piccolissimo tratto; ciò nasce dalla penetrazione dell' umidità il cui effetto sorpassa il leggiero restringimento prodotto dall' abbassamento della temperatura. L' azione separata sì dell' umidità che del ca-

lore sui legni li fa allungare, ma d' una quantità quasi insensibile: notabilissimo in vece è l' effetto dell' umidità nelle direzioni trasversali (*).

610. *Applicazioni.* Venendo ora alle applicazioni delle enunciate proprietà, cominceremo dal rammentare che l' avere i metalli una diversa dilatabilità l' uno dall' altro ha somministrato un felicissimo mezzo per rendere esatti gli orologi a pendolo. Hanno essi il difetto, quando la lente sta appesa per mezzo di un' asta metallica unica, che allungandosi questa nella state ed accorciandosi nel verno, i movimenti ora ritardano ed ora si accelerano. A correggere questo inconveniente, dopo avervi lungamente studiato, si immaginò di appendere la lente ad un sistema di più barre fatte di diversi metalli di varia dilatabilità, e in modo tale disposte che l' accorciamento delle une compensi l' effetto dell' allungamento delle altre, e così il moto dell'orologio rimanga invariabile. Una di queste disposizioni può essere quella di unire cinque barre, tre di ferro e due di zinco, disposte nel modo che mostra la figura 14, dove quelle di ferro sono segnate f, f, f, e quelle di zinco z, z. Se per più facile intelligenza noi supponiamo che si dilati prima la barra di ferro f che sta nel mezzo, poi le due z, z di zinco, e in fine le due f', f' di ferro, scorgeremo che essendo lo zinco assai più dilatabile del ferro, non solo le due barre z, z potranno alzare la lente L di quella quantità di cui è stata abbassata dalla dilatazione della barra f, ma altresì tanto di più quanto basta per correggere anche l' abbassamento che deve essere prodotto dalla successiva dilatazione delle due barre f', f' laterali; il quale compenso si otterrà esattamente quando si proporzionino in maniera opportuna le lunghezze delle diverse barre. Diconsi questi gli *orologi*

(*) Gehler's *Physikalisches Wörterbuch*, etc. t. I, p. 556. *Encyclopédie Méthodique*, *Physique*, t. IV, p. 255.

a compensazione, e l'invenzione deesi agli Inglesi Harrison ed Ellicot, e al Francese Giuliano le Roy.

Si fanno a compensazione anche gli orologi da tasca: si usano a questo fine nel bilanciere due archi metallici formati di due lamine di diversa dilatabilità *saldate* insieme, l'una interna e l'altra esterna, i *quali* archi pei cangiamenti di temperatura ora si aprono ed ora maggiormente si incurvano, e colle variazioni che vengono con ciò a produrre nei movimenti compensano delle altre variazioni contrarie cagionate dalle medesime mutazioni di temperatura.

La cognizione della esatta quantità di cui si dilatano i diversi corpi o in lunghezza o in volume importa assaissimo in molti casi; p. e. allorquando si debbono valutare le precise lunghezze che hanno le misure lineari alle diverse temperature, affine di poterle adoperare con sicurezza; allorquando si vuol conoscere l'esatto volume di qualche corpo pure alle varie temperature; allorquando occorre di sapere a qualsivoglia temperatura quale sia la capacità di un vaso. In quest'ultimo caso, come si è detto al §600, si ottiene l'aumento della capacità col calcolare l'accrescimento del volume di un solido della stessa natura del vaso, e il quale sia di tale grandezza da riempire esattamente quella capacità.

611. Una ingegnosa applicazione della dilatazione e del restringimento pel caldo e pel freddo, fu quella immaginata dal sig. Dumolard in Parigi per rimettere a luogo le muraglie di una sala che si erano allontanate e minacciavano rovina. Fece egli passare attraverso a queste muraglie parecchie robuste barre di ferro ritenute esternamente da madreviti, e cominciò a riscaldarne alcune, e mentre esse si allungavano, girava e teneva serrate contro le muraglie le loro madreviti. Quindi lasciò che si raffreddassero: nel che esse tendevano con tale forza a raccorciarsi che tiravano e ravvicinavano alcun poco le

pareti; perocchè a resistere a cotale sforzo delle barre non ci voleva minor forza di quella che sarebbe occorsa per estenderle sino a questa stessa lunghezza mentre erano fredde, la qual forza sarebbe stata assai maggiore di quella che le muraglie potevano opporre. Intanto poi che le prime barre facevano il loro effetto, egli scaldava le altre, tenendo similmente del continuo serrate le loro madreviti contro le muraglie. Quindi lasciava raffreddar queste per riscaldare nuovamente le prime. E così operando ora sulle une ed ora sulle altre giunse al segno che le pareti furono rimesse nel pristino stato; allora cessò e lasciò infitte le barre per impedire che in altro tempo si rinnovasse il danno.

Della Dilatazione de' liquidi.

612. La dilatazione de' liquidi, a parità di riscaldamento, è in generale molto maggiore di quella de' solidi, e nello stesso tempo più irregolare; e similmente ciascun liquido ha una legge particolare di dilatazione diversa da quella di tutti gli altri. Si ritiene però che venendo lasciati raffreddare dopo un precedente riscaldamento sino alle temperature primitive, tutti que' liquidi ove il calore non produce alterazioni chimiche, come sono il mercurio, l'acqua, ec., riacquistino esattamente il primitivo volume.

613. *Dilatazione del mercurio.* Noi cominceremo a considerare la dilatazione di questo metallo, la quale essendo nella scienza di una grande importanza ha interessato i Fisici più di quella di qualsivoglia altro liquido. Le sperienze che si hanno per più esatte riguardo a questa dilatazione sono quelle instituite pochi anni addietro dai sigg. Dulong e Petit, i quali operarono nel modo che passiamo ad esporre. Avendo riempiuti di mercurio due tubi di vetro verticali aperti superiormente ed uniti inferiormente con un altro tubo

più sottile ed orizzontale, ne tennero uno costantemente alla temperatura 0°C., mentre andavano scaldando gradatamente l'altro prima sino a +100°C., quindi a +200°C., infine a +300°C. Il mercurio del tubo esposto al calore si dilatava e diveniva specificamente più leggiero; e siccome è una legge di idrostatica che i liquidi di diversa densità nello equilibrarsi fra loro entro a tubi comunicanti prendano altezze reciproche alle densità stesse, così ne avveniva che il suddetto mercurio riscaldato si alzava nel suo tubo ad una maggiore altezza che quello freddo, e questo alzamento si effettuava in parte per mezzo della dilatazione che esso mercurio provava, e in parte altresì (perchè il tubo esposto al calore si faceva più largo) per l'afflusso di un po' di mercurio freddo che veniva condotto dal tubo orizzontale. Misuravano poi i due autori con grandissima diligenza le altezze delle due colonne di mercurio, e da esse deducevano la proporzione delle densità; in conseguenza di che venivano a conoscere la diminuzione avvenuta nella densità del mercurio, e quindi anche la dilatazione di una sua determinata massa.

Fatte molte esperienze, trovarono per medio risultamento che dalla fusione del ghiaccio all'ebullizione dell'acqua sotto la pressione di 76 centimetri di mercurio, il mercurio si dilata di

$$\frac{1}{55{,}50}$$

del volume che esso ha a 0°, il che corrisponde a $1/555_0$ per ogni grado centigrado, ossia a $1/444_0$ per ciascun grado della scala di Réaumur (nella scala di Fahrenheit corrisponderebbe a $1/999_0$ per ciascun grado).

Determinando la dilatazione di questo liquido alle temperature superiori a +100°C., e facendo uso de' gradi indicati da un termometro ad aria (vedi più sotto al § 639), si trova ch' esso va gradatamente divenendo più dilatabile

a proporzione che si porta a temperature più elevate. La media dilatazione in fatti da 0° a +200° C. (misurati da un termometro ad aria) è di $^1/_{54,55}$, e quella da 0° a +300° C. è di $^1/_{53}$; il che dà per la dilatazione parziale da +100° C. a +200° C.

$$\frac{1}{53}$$

e per quella da +200° C. a +300° C.

$$\frac{1}{50,5}$$

Quando il mercurio è vicino alla sua congelazione, temono i Fisici ch' esso cangi di volume irregolarmente e che incominci a partecipare di quel rapido salto con cui questo suo volume diminuisce gelando. Ciò però non può aver luogo se non sotto a —36° C. (—29° R.), giacchè sino a questo punto le indicazioni del termometro a mercurio si sono trovate sensibilmente concordi con quelle del termometro ad aria (*).

614. Una applicazione molto importante della misura della dilatazione del mercurio è quella di poter correggere le indicazioni del barometro osservate a temperature diverse da quella di 0° C., riducendole al valore ch' esse avrebbero, se il mercurio del barometro stesso fosse a 0°. Supponiamo che in un dato luogo a un dato istante, corretto l' errore della capillarità, il barometro segni $0^m,7540$, essendo la temperatura di 12°,5 C. Per avere l' indicazione che in quelle circostanze avrebbe dato un barometro col mercurio a 0°, non si farà che dedurre da $0^m,7540$ la quantità $\frac{0^m,7540 . 12\,^1/_2}{5550}$, cioè $0^m,0017$; con che si avrà $0^m,7523$

615. Ne' vasi di vetro la dilatazione del mercurio comparisce minore, venendo in parte dissimulata dall' aumento di capacità del recipiente. Così da 0° a

(*) Dulong e Petit negli *Annales de Chimie et de Physique*, t. VII, p. 118.

+100°C. la dilatazione apparente non è che di 1/64,8; il che dà 1/6480 pel medio effetto apparente di ogni grado centigrado di riscaldamento, e 1/5184 per l'effetto medio di ogni grado a scala di Réaumur.

Questa dilatazione apparente venne direttamente determinata da Dulong e Petit nella maniera che segue. Riempivano essi di mercurio un recipiente di vetro terminato con un sottil becco, avendo cura che fosse ben purgato d'aria; e fatto che questo vaso fosse perfettamente pieno alla temperatura 0°C., misuravano la quantità di mercurio ch'esso lasciava uscire nel venir recato a +100°C. Il rapporto fra la quantità che rimaneva nel recipiente, e la quantità totale che vi si trovava a 0°, era la misura del rapporto apparente fra il volume del mercurio a 0°, e il volume del medesimo a +100°C.; e il rapporto fra la quantità uscita e la quantità residua dava il rapporto apparente fra l'aumento del volume a +100°C. e il volume a 0°.

Una siffatta dilatazione apparente, la quale stando alle indicazioni di un termometro a mercurio sarebbe esattamente uniforme a tutte le temperature, stante che la graduazione di questi termometri si appoggia appunto alla dilatazione apparente del mercurio nel vetro, non è più tale se noi ci atteniamo ai gradi di un termometro ad aria; ma si trova che corrispondentemente a un medesimo numero di gradi di riscaldamento, è anch'essa più grande alle temperature elevate che alle basse. Da 0° a +200°C. il suo valor medio per ogni grado centigrado è di 1/63,8 del volume a 0°, e da 0° a +300° ella è di 1/63,8.

La cognizione della dilatazione apparente del mercurio e della dilatazione assoluta del medesimo, ha servito, come s'è detto al § 600, alla determinazione della dilatazione del vetro (*).

(*) Per confessare il vero io non veggo chiaro come dalla dilatazione reale 1/55,50 che mostra il mercurio da 0° a +100°C,

616. *Dilatazione degli altri liquidi in genere.* Oltre alla maniera, esattissima sì ma alquanto laboriosa,

e dalla dilatazione apparente $1/64{,}80$ ch' esso mostra ne' vasi di vetro fra gli stessi due limiti, si sia potuto dedurre per la dilatazione cubica del vetro fra questi limiti medesimi la quantità $1/387$ data da Dulong e Petit e che abbiamo riportata al § 600.

Per maggiore intelligenza si chiami

V il volume che ha una massa di mercurio contenuta in un recipiente di vetro alla temperatura 0° C.;

$V(1+D)$ la grandezza che acquista questo volume passando alla temperatura di +100° C., esprimendo con D la dilatazione reale di un volume 1 di mercurio da 0° C. a +100° C.;

$V(1+D')$ la grandezza apparente che il volume del medesimo mercurio mostra nel vaso di vetro alla temperatura di +100° C.; talchè se a 0° egli occupa, p. e., V millesime parti della capacità totale del vaso, a +100° C. egli ne occupi $V(1+D')$;

d in fine la dilatazione cubica da 0° a +100° C. d' una massa di vetro della natura di quello del vaso e che a 0° abbia il volume 1.

Ciò posto, siccome a +100° C. il volume apparente della massa di mercurio è $V(1+D')$, e ciascuna delle unità apparenti di questo volume ha il valore $(1+d)$, così il volume reale del medesimo mercurio è

$$V(1+D')\ (1+d)$$

Si ha adunque

$$V(1+D')\ (1+d) = V(1+D)$$

da cui

$$(1+D')\ (1+d) = (1+D)$$

donde

$$1+d = \frac{1+D}{1+D'}$$

da cui finalmente

$$d = \frac{D-D'}{1+D'}$$

Ponendo ora $\quad D = \frac{1}{55{,}50}, \quad D' = \frac{1}{64{,}80}$

si ha

$$d = \frac{64{,}80 - 55{,}50}{65{,}80.55{,}50} = \frac{1}{392{,}7} = 0{,}002546$$

adoperata da Dulong e Petit pel mercurio, si possono usare per misurar la dilatazione de' liquidi parecchi altri metodi, de' quali ecco alcuni.

Il metodo che ci si affaccia pel primo è quello di misurare la dilatazione apparente di tali sostanze *in* vasi, p. e, di vetro, e di correggere quindi i risultamenti mettendo in conto la dilatazione propria de' vasi medesimi. Rischiariamo la cosa con un esempio. Dalle sperienze di Gilpin e Blagden si è dedotto che lo spirito di vinò della gravità specifica 0,825, fra 0° e +100°C., si dilata apparentemente nel vetro di 0,122536 del suo volume a 0°. Onde averne la dilatazione reale, noi possiamo considerare che la dilatazione cubica del vetro fra questi due limiti secondo Petit e Dulong è 0,002584 del volume a 0°, e che perciò un vaso di vetro che a 0° abbia la capacità 1, a +100°C. ha la capacità 1,002584. In conseguenza di ciò se un volume d'alcool contenuto in un vaso di vetro si mostra a +100°C. della grandezza apparente 1,122536, effettivamente egli è della grandezza 1,122536 × 1,002584, ossia 1,125436. La dilatazione reale adunque dell'alcool fra questi due limiti è 0,125436. Nel nuovo Dizionario fisico di Gehler, partendo da un dato alcun poco diverso riguardo alla dilatazione del vetro, si dà per misura di questa dilatazione reale il numero 1,125485.

a cui corrisponde la dilatazione lineare

0,000848

Le dilatazioni cubica e lineare secondo Dulong e Petit sono rispettivamente

0,002584; 0,000861

delle quali la prima è la semplice differenza fra le dilatazioni reale ed apparente del mercurio, ossia, adottando i simboli precedenti, è il semplice valore della quantità $(D-D')$, e la seconda è il terzo di questa differenza.

Questa considerazione aggiunta a quella delle irregolarità che presenta il vetro esposto al calore, induce il desiderio che le sperienze di Dulong e Petit vengano di nuovo rifatte.

617. Un' altra maniera è quella stata adoperata per l' acqua dallo Svedese Hällström. Immergeva egli in questo liquido una palla cava di vetro con entro una quantità di sabbia e avente un conosciuto peso, tenendola appesa ad un sottil filo, e misurava con grandissima diligenza la perdita di peso che questa palla soffriva in tale immersione ad una o ad altra temperatura. Questa perdita era il peso di un egual volume d' acqua. Ora un tal volume d' acqua così pesato egli conosceva come andasse variando di grandezza alle diverse temperature, sapendo con qual legge si dilatava la palla di vetro adoperata; quindi dal peso di un cotal volume variabile egli poteva per mezzo di una facile proporzione calcolare il peso che si sarebbe avuto a qualsivoglia temperatura se il volume non si fosse cangiato. Paragonando poi i pesi di un volume invariabile di acqua corrispondenti alle varie temperature, egli otteneva le densità di essa alle temperature medesime, e dalla legge della variazione della densità veniva a conoscere la legge della dilatazione.

Il vantaggio che questa maniera di sperimentare ha sopra la precedente consiste nello schivare gli errori provenienti dalla inesatta graduazione del collo del vaso. Per misurare poi più esattamente il peso dello strumento entro all'acqua, il sig. Hällström faceva che questo peso fosse assai piccolo, cioè che il peso assoluto dello strumento eccedesse di pochissimo quello di un egual volume d' acqua. In cotal modo non essendo la bilancia aggravata che di un peso leggerissimo, poteva questo essere misurato con grandissima precisione. Noi daremo in una Tavola sul fine del capitolo i risultamenti delle sue sperienze.

618. Un modo semplicissimo e comodo è quello additato da Muncke nel nuovo Dizionario fisico di Gehler (*). Consiste esso nel prendere un vaso di

(*) T. I, p. 605.

vetro di collo sottile, e nell' introdurvi tale quantità di mercurio che la dilatazione di questo compensi esattamente l' aumento della capacità del vaso sino al cominciamento del collo. Egli è chiaro che posto un qualsivoglia liquido a riempire la parte di capacità non occupata dal mercurio, la dilatazione di un tal liquido dovrà tutta palesarsi col passaggio di una parte di esso entro al collo del vaso. La quantità del mercurio da introdursi è, senza error sensibile, $\frac{1}{23}$ di quella quantità che a 0°C. riempie il vaso sino all' incominciamento delle divisioni della scala annessa, al quale incominciamento si suppone terminata la capacità che si vuol rendere invariabile. E questa scala si può dividere in tante millesime parti della capacità del vaso lasciata vacua, vale a dire in tanti cinquantesimi di ciascuna delle ventitrè parti in cui, all' introdursi del mercurio, si è divisa la capacità totale. Nel determinare poi la dilatazione de' liquidi in cotal guisa cimentati conviene avere il debito riguardo anche alla piccola dilatazione della capacità del tubo dal principio delle divisioni della scala sino a quella divisione a cui perviene il liquido dilatato.

Flaugergues aveva immaginato allo stesso oggetto di porre ne' vasi di vetro de' cilindri di piombo; ma questo modo di compensazione è molto più difficile a praticarsi.

619. Il celebre Deluc fece una serie di sperienze per determinare la legge delle dilatazioni apparenti di diversi liquidi ne' vasi di vetro, ai diversi gradi del termometro a mercurio. Costrusse egli parecchi piccoli recipienti simili a quelli de' comuni termometri, li riempì de' diversi liquidi che voleva cimentare, ed avendo segnati i due punti ove arrivavano le colonne di questi liquidi contenute nella parte tubulare de' recipienti, alle temperature della fusione del ghiaccio e dell' ebullizione dell' acqua, divise l' intervallo frapposto in 80 parti uguali. I tubi erano ben calibri-

i liquidi ben purgati d'aria, e per impedire l'evaporazione eransi chiuse le estremità superiori d'essi tubi mediante la fusione del vetro. Ciò fatto, egli osservò le indicazioni che dava ciascuno di questi strumenti corrispondentemente alle diverse temperature date da un termometro a mercurio. E n'ebbe i risultamenti registrati nella tavola seguente (*).

Mercurio.	Olio d'oliva.	Olio essenziale di camomilla.	Olio essenziale di serpillo.	Acqua satura di sal comune.	Alcool rettificatissimo.	Parti 1 d'alcool con 1 d'acqua.	Parti 1 d'alcool con 3 d'acqua.	Acqua
80	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
75	74,6	74,7	74,3	74,1	73,8	73,2	71,6	71,0
70	69,4	69,5	68,8	68,4	67,8	66,7	62,9	62,0
65	64,4	64,3	63,5	62,6	61,9	60,6	55,2	53,5
60	59,3	59,1	58,3	57,1	56,2	54,8	47,7	45,8
55	54,2	53,9	53,3	51,7	50,7	49,1	40,6	38,5
50	49,2	48,8	48,3	46,6	45,3	43,6	34,4	32,0
45	44,0	43,6	43,4	41,2	40,2	38,4	28,4	26,1
40	39,2	38,6	38,4	36,3	35,1	33,3	23,0	20,5
35	34,2	33,6	33,5	31,3	30,3	28,4	18,0	15,9
30	29,3	28,7	28,6	26,5	25,6	23,9	13,5	11,2
25	24,3	23,8	23,8	21,9	21,0	19,4	9,4	7,3
20	19,3	18,9	19,0	17,3	16,5	15,3	6,1	4,1
15	14,4	14,1	14,2	12,8	12,2	11,1	3,4	1,6
10	9,5	9,3	9,4	8,4	7,9	7,1	1,4	0,2
5	4,7	4,6	4,7	4,2	3,9	3,4	0,1	— 0,4
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
— 5				— 4,1	— 3,9			
—10				— 8,0	— 7,7			

Appare da questa tavola che le dilatazioni apparenti di tutti i suddetti liquidi vanno facendosi tanto più

(*) Ho tolto questa tavola dalla Fisica di Pouillet, t. I, p. 301, correggendo però il terzo numero della terz'ultima colonna, e ponendolo quale si trova nelle *Recherches sur les modifications de l'atmosphère* di Deluc. Paris, 1784, t. II, p. 207, § 426, *b*.

rapide quanto più le temperature si vanno elevando. L'alcool, p. e., da 0° a +40°R. si dilata apparentemente nel vetro di parti 35,1; e da +40° a +80° si dilata di parti 44,9. E questo andamento crescente ha luogo anche per le dilatazioni reali; giacchè se di grado in grado noi aggiungessimo alle dilatazioni apparenti di *questi* liquidi le quantità di dilatazione che vengono dissimulate dall'aumento di capacità del vaso, avrebbero una legge crescente anche queste aggiunte. Rendiamo chiara la cosa con un esempio. Supponendo che l'alcool usato da Deluc fosse della stessa qualità di quello usato da Gilpin e Blagden, che aveva la densità 0,825, e pel quale quei due autori avevano trovato 0,122536 di dilatazione apparente da 0° a +80°, quelle parti 35,1 di apparente dilatazione da 0° a +40°, sarebbero equivalenti apparentemente a $\frac{35,1}{80}$.0,122536 ossia a 0,0537627 del volume primitivo; e siccome fra queste due temperature il vetro, per dilatazione cubica, si dilata nella ragione di 1 a $(1+\frac{1}{2}.0,002584)$, ossia come 1 a 1,001292; così per avere il volume reale dell'alcool a +40° converrà moltiplicare il volume apparente 1,0537627 per 1,001292, cioè aggiungere 0,001292. 1,0537627 ossia 0,0013615 al volume apparente medesimo, con che si ha 0,055124 per la dilatazione reale da 0° a +40°R. Ad avere in vece il volume reale a +80°R. conviene moltiplicare il volume apparente 1,122536 per la grandezza a cui giunge, a +80°R., la capacità d'un vaso di vetro la quale a 0° sia 1, vale a dire per 1,002584 (§ 616), ossia converrà aggiungere 0,002584. 1,122536 al volume apparente, ossia aggiungergli 0,002900; con che per la dilatazione reale si ha 0,125436. Ora si vede che la quantità aggiunta 0,002900 è più che il doppio di quella che dovevasi aggiungere a +40° cioè di 0,0013615, e perciò l'andamento della dilatazione assoluta dell'alcool deve essere necessariamente crescente: e in fatti

se da 0° a +40° esso si dilata di 0,055124, da +40° a +80° si dilata di 0,070312.

620. *Della dilatazione dell' alcool.* La dilatazione di questo liquido varia secondo i diversi gradi di rettificazione, come appare dalla precedente tavola di Deluc, e come è ben naturale a pensarsi (1).

La dilatazione dell' alcool assoluto, da −26,11 fino a +37,22 del termometro centigrado, secondo Tralles è regolare, cioè va d' accordo colla dilatazione apparente del mercurio ne' termometri (2). A temperature però più elevate, secondo che abbiamo veduto più sopra (benchè a vero dire non si trattasse di alcool assoluto), ha un andamento crescente. Di qui è che i termometri ad alcool, se si vuole che vadano d' accordo con quelli a mercurio, debbono graduarsi mediante il paragone con uno di questi ultimi.

La dilatazione dell' alcool, tanto reale quanto apparente ne' vasi di vetro, è molto più grande che quella del mercurio corrispondente ai medesimi aumenti di temperatura. Le dilatazioni reali de' due liquidi fra 0° e +80° R. sono infatti 0,125436 e 0,018018, cioè nella ragione di 6,4 a 1; e le dilatazioni apparenti sono 0,122536 e 0,015432 che stanno fra loro prossimamente come 8 a 1.

621. *Della dilatazione dell' acqua.* L' acqua ha un modo di dilatazione singolarissimo e tutto suo proprio. Dal grado della sua fusione cioè da 0° in sino a +4°,1 C. (+3° 1/4 R.) all' incirca, ella si restringe di una piccolissima quantità cioè di circa 1/10000 del suo total volume. Dopo questo punto, che si dice di *massima densità*, ella si dilata al pari di ogni altra sostanza, riprendendo verso gli +8°,2 C. quel medesimo volume

(1) Sulla dilatazione delle varie qualità di alcool ha fatto un gran numero di osservazioni Gilpin sotto la direzione di Blagden; e se ne trovano i risultamenti nelle *Phil. Trans.* pel 1794.

(2) Gehler's *Physik. Wörterb. neu bearb.* t. I, p. 617.

ch' ella ha a 0°, e quindi proseguendo con legge accelerata sino al suo passaggio allo stato aeriforme; l'aumento del suo volume da 0° a +100°C. è circa $1/_{21}$ del volume a 0°.

Il cangiamento di volume che l'acqua soffre presso al suo massimo di densità per piccole variazioni di temperatura è estremamente piccolo. Se una variazione di 4°C. al di sopra o al di sotto di questo massimo non aumenta il volume, come si è detto, che di $1/_{10000}$, una variazione di soli 2°C. non l'aumenta che di $1/_{40000}$, e una variazione di 1°C. l'aumenta soltanto di $1/_{160000}$. Di qui è che queste variazioni di volume intorno al massimo di densità sono difficilissime a determinarsi esattamente.

622. Fu contrastata per molto tempo l'esistenza di questo massimo di densità, come cosa affatto contraria all'ordinario modo di operare del calorico ne' corpi, e molti sono i metodi co' quali si è procurato di stabilirla. Deluc osservò per quest'oggetto la dilatazione apparente dell'acqua in un tubo termometrico, ommettendo però la correzione dipendente dalla dilatazione del vaso. Dalton osservò similmente la dilatazione apparente di questo liquido, ma fece altresì la indicata correzione. Gilpin e Blagden pesarono diligentemente la quantità d'acqua che può essere contenuta in un medesimo recipiente a diverse temperature, tenendo il dovuto conto dell'aumento di capacità del vaso. Lefèbvre-Gineau, e recentemente Hällström misurarono le perdite di peso che fa un corpo immerso nell'acqua, alle varie temperature di questa, facendo la correzione per la variazione del volume del corpo immerso. Hope, Tralles, e Rumford infine, avendo fatto che in un medesimo vaso si contenga contemporaneamente dell'acqua a diverse temperature, osservarono qual è quella che si tiene al di sotto e che quindi è più densa dell'altra (*).

(*) Biot, *Traité de Physique*, t. I, p. 197, 225, 240, 261, 263. — Pouillet, *Élémens de Physique*, t. I, p. 288.

Fra tutti questi modi quello di Hope, siccome indipendente dalla dilatazione de' vasi o de' corpi immersi, è il più idoneo per dimostrare l'esistenza di un cotal massimo. Ora esso mostra che l'acqua a $+4°$ C. sta al di sotto dell'acqua a $+5°$, a $+6°$, ec., ed eziandio sta sotto di quella a $+3°$, a $+2°$, ec.; e che perciò verso i $+4°$ C. l'acqua è assolutamente più densa che alle altre temperature sì più elevate che più basse. Agli altri metodi si poteva sempre opporre che il massimo di densità non era reale, ma risultava soltanto ne' computi dal non fare esattamente la correzione per la dilatazione dei vasi: benchè a dir vero queste correzioni venivano fatte con de' dati molto accurati, e tutte coincidevano a dare presso a poco un medesimo risultamento, cioè che l'acqua ha un massimo di densità fra $+3°,33$ C. e $+4°,43$ C.

623. Ben più difficile ricerca si è quella di determinare la precisa temperatura alla quale questo massimo di densità ha luogo. Usando de' metodi di Dalton, di Blagden, e di Hällström può nascere sensibile errore dal non conoscersi esattamente la variazione della capacità de' vasi destinati a contenere i liquidi, ovvero la variazione del volume de' solidi immersi; in tutti i metodi la lentezza con cui a quella temperatura si effettuano i moti idrostatici, variando pochissimo la densità del liquido pel variar del calore, rende molto tardi i termometri a indicare la temperatura del liquido medesimo; qualche piccolo effetto può talora venir prodotto anche dalla luce assorbita dal termometro, specialmente s'egli è a spirito di vino colorato (502); i termometri a mercurio, quando non siano stati verificati poco prima della sperienza, assai facilmente possono indurre in errore, specialmente in grazia dello spostamento dello zero scoperto dal Bellani (§ 604). Da queste e da altre cause ne viene che v'ha ancora della discrepanza fra gli autori intorno a questo punto. Però il risultamento che si am-

mette come il più probabile è quello ottenuto fra gli altri da Hällström, il quale pochi anni sono si occupò con diligenza di un tal soggetto: avendo questi discusso le proprie sperienze e quelle eseguite da altri autori, pone questo massimo di densità alla temperatura di 4°,1 C., confessando però di non poter garantire da un errore di 1/4 di grado centigrado in più o in meno (1).

Rintracciò altresì il sig. Hällström la legge della dilatazione dell' acqua da 0° a +30°C., e ne formò una tavola che noi riporteremo alla fine del capitolo. Avvertiremo però esser questa la legge della dilatazione dell' acqua distillata e privata d' aria; forse l' acqua comune benchè purissima, attesa l' aria che contiene, può mostrare qualche diversità specialmente riguardo al punto della densità massima. Gran differenza poi vi s' introduce se l' acqua contiene qualche sostanza salina; allora il massimo di densità cangia di luogo, portandosi più basso nella scala delle temperature, e scendendo gradatamente, a proporzione che si fa maggiore la quantità del sale, sino al punto della congelazione di essa acqua salsa, benchè anche questo discenda, e di poi cessando affatto di manifestarsi. L' acqua del mare, secondo Herman il figlio, si trova appunto in quest' ultimo caso; col raffreddarsi ella si restringe continuamente finchè non sopraggiunge la sua congelazione (2): in qual modo particolare poi ella geli il vedremo altrove.

Si suole comunemente spiegare questo singolare fenomeno della dilatazione dell' acqua pura nell' avvicinarsi di essa al punto della sua congelazione, coll' attribuirlo a un incominciare che fanno le sue molecole ad acco-

(1) Bellani col metodo di Hope aveva trovato 39° 1/2 F. equivalenti a 4°,17 C. *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1808, p. 309.

(2) Pouillet, *Elémens de Physique*, t. II, p. 691.

starsi a quelle vicendevoli posizioni le quali esse debbono poi definitivamente prendere nel passare allo stato solido, e alle quali corrisponde un volume molto maggiore qual si è quello del ghiaccio.

624. L'avervi questo massimo di densità nell'acqua dolce serve a dar ragione di parecchi fenomeni naturali. Noi noteremo questi tre: 1.° Se quest'acqua alla superficie di una massa tranquilla è più calda del punto di massima densità, la sua temperatura decresce a proporzione che si discende, senza che però mai arrivi al di sotto del massimo di densità medesimo; 2.° Se alla superficie ella è più fredda del massimo di densità, la temperatura si eleva a proporzione che si va a profondità maggiore, non potendo però neppur qui passar oltre a quella del massimo di densità; 3.° In un medesimo bacino, purchè non sia o molto grande ovvero poco profondo, non può contemporaneamente trovarsi in uno stato di equilibrio dell'acqua più calda e di quella più fredda del massimo di densità.

Per provare il primo di questi fatti con qualche esempio citerò alcuni risultamenti di diverse osservazioni fatte recentemente dall'Inglese La-Bêche sul lago di Ginevra, e su' laghi di Thun e di Zug in Isvizzera (1). Aveva egli unito ad uno scandaglio un di que' termometri che segnano la minima delle temperature a cui sono stati esposti (§ 659), e lo calava nelle sue varie escursioni da diversi punti della superficie de' laghi suddetti, facendolo discendere ciascuna volta sino a un metro circa di distanza dal fondo. Nella prima delle tavole seguenti si trovano alcuni de' molti risultamenti da lui ottenuti nel lago di Ginevra, e nelle altre due si veggono quelli avuti negli altri due laghi. Nella prima colonna sono notate le profondità ridotte in metri, e nella seconda le corrispondenti temperature espresse in gradi centigradi.

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XIX, p. 77.

I. *Osservazioni fatte nel Lago di Ginevra nel settembre* 1819.

	Profondità in metri	Temperature
Nel *piccolo Lago* da Ginevra a Genthod.	1,8	+19°5 C.
	9,1	+18,4
	18,3	+16,6
	27,4	+12,2
Nel *Lago grande* in varii luoghi.	38,4	9,9
	65,0	8,4
	107,9	6,6
	128,0	6,6
	146	6,4
	183	6,4
	275	6,4
	294	6,4

II. *Osservazioni fatte nel Lago di Thun.*

Alla superficie		15°6
A metri . . .	27,4 di profondità	5,6
	91,4	5,3
	192,0	5,3

III. *Osservazioni fatte nel Lago di Zug.*

Alla superficie		14°4
A metri . . .	27,4 di profondità	5,5
	46	5,0
	70	5,0

Riguardo al lago di Ginevra egli notò che nel *Lago grande*, il quale egli traversò più volte in molte direzioni, al di sotto di una profondità di 146 metri la temperatura era dappertutto di 6°,4 C. Parecchie di tali sperienze le aveva già fatte Saussure come vedremo più sotto (§ 627), e i risultamenti erano stati somiglianti.

Egli è poi chiaro che la cosa non può andare diversamente; perciocchè se nel bacino, o per diversa temperatura de' varii influenti, o in conseguenza del calore della state e del freddo del verno, vi sono delle masse d' acqua diversamente riscaldate, essendo però tutte ad una temperatura superiore a quella del massimo di densità, egli è d'uopo che le più fredde siccome più dense occupino il fondo, e le più calde stiano alla superficie.

È chiaro similmente, per venire al secondo fatto, che tutto il contrario dee succedere quando nel bacino vi sono più masse d' acqua a diverse temperature tutte inferiori al massimo di densità; le più fredde debbono stare di sopra e le men fredde di sotto, e se vi ha eziandio del ghiaccio, questo essendo specificamente più leggiero dell' acqua dee rimaner galleggiante alla superficie. Le sperienze eseguitesi a questo riguardo nel rigore dell' inverno non sono a vero dire numerose; tutte però tendono a confermare una siffatta conclusione.

Non è poi possibile, come abbiam detto, che in uno stesso bacino il quale non sia molto grande, abbiasi contemporaneamente e dell' acqua al di sotto del massimo di densità e di quella al di sopra; giacchè, supposto per un momento che in esso vi fossero contemporaneamente di queste due qualità di acqua (sempre ben inteso che tutta quest' acqua sia omogenea e pura), quelle parti di essa acqua che si trovassero precisamente a questo massimo si porterebbero al di sotto di tutta la massa; e quelle parti che fossero a più alta e a più bassa temperatura prenderebbero luogo sopra, e confondendo insieme le loro temperature darebbero origine ad altra acqua della temperatura del massimo di densità che pure scenderebbe a fondo, e lascierebbero in fine o dell' acqua più fredda di questo massimo o dell' acqua più calda, secondo che fosse prevalente la massa fredda o la calda.

625. I cangiamenti della temperatura nell'acqua de' laghi alle grandi profondità, prescindendo dalle agitazioni (che però non arrivano gran cosa al di sotto della superficie) e dall'effetto delle acque influenti, sono pochissimo sensibili. Consideriamo per un esempio l'acqua del lago di Ginevra ad una profondità di 108 metri, e supponiamo che la temperatura sia ivi primitivamente quale l'abbiamo data poco sopra nella tavola de' risultamenti del sig. La-Bêche, cioè a +6°,6C., e ch'ella si debba cangiare pel solo effetto del riscaldamento o del raffreddamento della superficie, senza che vi concorra verun rimescolamento di altre acque. Se dunque alla superficie verrà l'acqua a riscaldarsi, l'aumento del calore si terrà quasi tutto verso la superficie stessa, non potendo trasmettersi alle parti profonde coll'ajuto del moto idrostatico, ma col solo lentissimo mezzo della facoltà conduttrice: quindi ci vorranno mesi e forse anni prima che sotto a 108 metri venga l'acqua a riscaldarsi sensibilmente. Soltanto il calor centrale o proprio della terra andrà lentamente comunicando calorico all'acqua dalla parte inferiore, e andrà alzando insensibilmente la temperatura di tutta la massa dalla profondità di 294 metri sino a quella di 146, e dico di tutta questa massa, perchè una siffatta quantità di calorico vi si distribuirà uniformemente in grazia de' moti idrostatici; si parteciperà quindi a poco a poco questo calore anche agli strati compresi fra i 146 metri di profondità e i 128 metri, finchè se mai in questi arriverà tutta l'acqua a +6°,6C., i riscaldamenti successivi verranno partecipati a tutta quanta la massa che possiede questa temperatura. Però il riscaldamento dovuto a questa causa è lentissimo. Secondo i calcoli in fatti di Fourier la degradazione delle temperature negli strati terrestri venendo di basso in alto (la quale è appena di $1/30$ o di $1/40$ di grado centigrado per ogni metro di salita) fa appena ascendere alla superficie del globo tanto calorico da liquefare in un secolo uno strato di ghiaccio alto circa tre metri (*), ossia appena tanto (§ 422) da tenere continuamente questa superficie per circa $1/30$ di grado centigrado più calda di quello che ella sarebbe senza il calor centrale suddetto. Sotto ai laghi il successivo aumento delle temperature

(*) *Annales de Chimie et de Physique* t. XXVII, p. 162.

che vi ha discendendo può essere leggermente più rapido, essendo minore in grazia della profondità del letto la distanza da que' luoghi ove, p. e., la temperatura è di 1000° C.; ma la differenza è sì poca cosa che in luogo di dover discendere, e. g., di 40 metri per trovare un aumento di 1° C. si dovrà discendere (posta la stessa natura del suolo) di $39^m,5$ o di $39^m,75$. Si dee quindi ancora conchiudere che il calorico somministrato continuamente dalla terra alle acque de' laghi sovrapposti è in piccolissima quantità.

Se in vece la superficie si verrà a raffreddare, avrà bensì luogo un moto idrostatico che favorirà il raffreddamento, ma l'effetto non potrà venir sentito alla profondità di 108 metri fino a che tutta l'acqua superiore non siasi raffreddata fino a +6°,6 C.; allora avremo tutta la massa d'acqua da questo punto sino alla superficie, a questa uniforme temperatura; e continuando il freddo, esso si propagherà anche a maggiore profondità. Verrà poi a sentirne anche il fondo quando tutta sia giunta a +6°,4 C.; e continuando il freddo, si raffredderà tutta insieme sino al massimo di densità, cioè sino a +4°,1 circa. Dopo, se il freddo superficiale continuerà ancora, cesserà ogni moto idrostatico, e il freddo non si propagherà sensibilmente al di sotto della superficie. E se si formerà del ghiaccio, questo rimarrà sopra l'acqua, e siccome solido e incapace di mescolamento di parti e dotato inoltre di poca conducibilità permetterà anch' esso difficilmente che l'acqua inferiore faccia nuova perdita di calorico; talchè a pochi metri di profondità si conserverà questa per lunghissimo tempo presso al massimo di densità, e ci vorranno molti anni e forse de' secoli prima che se ne raffreddi sensibilmente il fondo. Che se il calorico somministrato continuamente dalla terra basterà a riparare la perdita che ha luogo per conducibilità attraverso alla massa dell'acqua e del ghiaccio, e per irradiazione e per venti freddi alla superficie superiore della massa medesima (la qual cosa può facilmente avvenire in que' laghi che hanno almeno 400 ovvero 500 metri di profondità), in questo caso l'acqua sul fondo potrà mantenersi perpetuamente allo stato liquido o anche alla temperatura del massimo di densità. Possiamo poi qui notare che in grazia di questa grande difficoltà dell'acqua a gelare sul fondo de' laghi, rimane prov-

veduto dalla divina sapienza alla conservazione dei pesci durante il rigore della fredda stagione.

Ella è un' altra verità facile a vedersi, parlando di quei laghi ove la temperatura abituale è superiore a quella del massimo di densità, che in essi il raffreddamento della total massa acquea è più facile che non il riscaldamento, e che perciò la temperatura media di questa total massa d'acqua, e molto più la temperatura del fondo dev' essere più bassa della media temperatura delle regioni ove essi laghi sono situati. Il raffreddamento è in fatti favorito dall' evaporazione, e molto più dai moti idrostatici i quali rimescolando la massa portano continuamente alla superficie acqua non ancor raffreddata; in vece nel caso del riscaldamento per la mancanza di questi movimenti il calorico difficilmente penetra all' ingiù. Vero è che il riscaldamento è favorito alcun poco dal calor proprio della terra, il quale comunica calorico alla massa acquea per di sotto; ma questo come si è veduto è pochissima cosa, e probabilmente non basta a tenerla di $^1/_{10}$ di grado centigrado più calda di quello ch' ella sarebbe altrimenti.

Tutte queste deduzioni poi del ragionamento vengono ad essere modificate alquanto dalla temperatura dell' acqua degli influenti. Siccome però l' effetto di questi può variar moltissimo dall' un caso all' altro per varie circostanze; così non ne possiamo dir nulla di generale.

626. In prova di queste conclusioni arrecherò alcuni risultamenti ottenuti dal celebre Saussure. Essendosi egli provveduto di termometri a lentissimi movimenti, i quali immersi nell' acqua non si mettevano ad equilibrio di temperatura con esso lei se non dopo una lunga dimora, ma avevano in contraccambio il vantaggio di conservare queste indicazioni anche molto tempo dopo essere stati levati dal luogo ove si erano lasciati, ed avendo con questi esplorate le temperature di varii laghi della Svizzera e de' paesi vicini, trovò i risultamenti esposti nella seguente tavola (*). Le tempera-

(*) *Voyages dans les Alpes*, § 43, . . . 47, 383, 397, 400, 1163, 1170, 1395, . . . 1399. Nella riduzione de' gradi alla scala centigrada, siccome Saussure faceva corrispondere il +80° de' suoi termometri all'ebullizione dell'acqua sotto la pressione di 27

ure indicate nella penultima colonna appartengono tutte al ndo de' rispettivi laghi, ad eccezione soltanto di quelle resso Evian e presso Meillerie nel lago di Ginevra, in ascuno de' quali due luoghi la temperatura si è esplorata in sul fondo e a minore profondità. Le due temperature tenute nello stesso lago presso Genthod appartengono al ndo del lago in un medesimo luogo, ma si riferiscono a ue diverse epoche dell'anno (*).

Nome de' Laghi	Epoche dell'osservazione.	Temperatura dell'aria all'istante dell'estrazione del Termometro, in gradi centigradi.	Temperatura alla superficie dell'acqua all'istante suddetto.	Temperatura alle profondità indicate.	Profondità in piedi.
Lago di Costanza . . .	25 luglio 1784	19,8	18,0	4,21	370
» di Brientz	8 detto 1783	19,2	19,8	4,7	500
» di Lucerna	28 detto »	21,0	16,3	4,83	600
» di Thun	7 detto »	20,4	18,8	4,95	350
» di Neuchâtel . . .	17 detto 1779	23,8	22,9	5,0	325
» di Annecy	14 maggio 1780	12,1	14,2	5,57	163
» di Bourget vicino a Aix in Savoja	6 ottobre 1784	14,6	17,7	5,57	240
» di Ginevra:					
presso Evian. .	12 febbr. 1779	. . .	. . .	5,57	350
ibid	13 detto »	3,9	5,6	5,13	620
presso Meillerie	12 detto »	. . .	. . .	5,57	100
ibid	» detto »	. . .	. . .	5,57	250
ibid	» detto »	2,8	5,6	5,32	950
in mezzo al suddetto lago. .	6 detto »	5 cir.	5,57	5,57	350
presso Genthod	17 detto »	. . .	. . .	5,77	150
ibid	5 agosto 1779	. . .	21,0	6,06	id.
» Maggiore.	19 luglio 1783	22,6	25,1	6,68	335
» di Bienne	» detto 1779	22,0	20,5	6,80	217
» di Joux	15 detto »	13,4	13,0	10,60	80

ollici di mercurio, così noi abbiamo riguardata questa temratura di +80° come equivalente a quella di +99° C. Vedi ù innanzi al § 647.

(*) *Voyages dans les Alpes*, § 397.

Da questi risultamenti se ne hanno, come si è detto, per generali conseguenze: 1.° Che la temperatura del fondo de' laghi è pochissimo variabile: e ciò appare dalle osservazioni fatte nel lago di Ginevra presso Genthod, nelle quali dall'inverno alla state non si ebbe che una differenza di $0,3oC.$, e questa Saussure opina che si debba attribuire piuttosto all'effetto prodotto sui termometri dagli strati superiori dell'acqua del lago nello estrarre cotali strumenti, anzichè a effettiva variazione di temperatura dell'acqua in sul fondo. 2°. Che in tutti i suddetti laghi la temperatura del fondo è poco superiore al punto della massima densità, e che quindi ella è molto inferiore alla temperatura media de' paesi della Svizzera, ne' quali questa media temperatura è compresa fra gli 8 e i 10 gradi centigradi sopra lo zero. Il solo lago di Joux presentò un'eccezione; ma questa è da attribuirsi parte alla sua poca profondità, e parte altresì a qualche emissario che questo lago collocato alla notabile altezza di circa 500 tese sopra il livello del mare, abbia verso il fondo: per quest'ultima circostanza in fatti l'acqua del fondo la quale negli altri laghi rimane stagnante e tranquilla, in questo dovrebbe uscir fuori e venir supplita da altra condottavi dai *fiumicelli* che alimentano il lago. E in appoggio dell'ipotesi si può osservare che in cotal lago sono realmente visibili parecchii di tali emissarii, e che anzi è questo l'unico modo col quale si scaricano le sue acque (1); facilissimamente perciò ve ne può essere qualcuno anche nelle parti più profonde del letto.

627. Scendendo nel mare a diverse profondità si trova similmente una variazione nelle temperature; e si osserva che, prescindendo dalle circostanze particolari in cui si trovano i diversi mari, la legge di questa variazione è differente secondo le differenti latitudini. Fra i tropici la temperatura va successivamente abbassandosi a proporzione che si discende a maggiore profondità, fino ad aversi una notabile differenza colla temperatura della superficie. Ecco i risultamenti di alcune osservazioni fatte a questo proposito (2).

(1) *Voyages dans les Alpes*, § 384.
(2) Pouillet, *Élémens de Physique*, t. II, p. 688.

Temperatura alla superficie.	Temperatura alle profondità indicate.	Profondità in *brasses.*	in metri.	Nome dell' osservatore.
28°33 C.	7°5 . . .	1000	1829	Sabine
30,77	9,7 . . .	100	183	Ross
22,8	5,6 . . .	1000	1829	Wauchope

Dalla latitudine di 30° a quella di 70° ha pur luogo una somigliante degradazione, ma la differenza fra la temperatura del fondo e quella della superficie è meno notabile e va diminuendo gradatamente fino al suddetto grado 70° di latitudine.

Al di là di questo grado 70° la legge si rovescia, mostrandosi generalmente la temperatura alcun poco più calda sul fondo che alla superficie. Ecco i risultamenti di alcune fra le varie osservazioni che si sono fatte in que' climi.

Latitudine.	Temperature dell' aria.	Temperature dell' acqua alla superficie.	Temperature dell' acqua alle profondità indicate.	Profondità ridotte in metri.	Nomi degli osservatori.
71°24′	+3°3	+1°7	+0°6	161	Parry
75,2′	—0,4	—1,1	—0,4	172	*id.*
80,0′	+4,4	—1,3	+2,4	219	Scoresby

La ragione della prima di queste particolarità non è difficile a concepirsi. Venendo le acque fra i Tropici fortemente riscaldate dal Sole, benchè dalla parte superiore, mentre all'incontro sono assai fredde quelle verso i poli, nasce nell'Oceano un esteso movimento idrostatico, consistente in due correnti superiori d'acqua che lentamente vanno verso i due poli, e in due correnti inferiori che dai due poli vengono a poco a poco verso l'Equatore. Di queste correnti le due inferiori si riscaldano pochissimo nel loro cammino essendo a contatto con un fondo già stato raffreddato precedentemente dalle medesime correnti e che assai lentamente somministra calorico in conseguenza del calor centrale; arrivano quindi fredde queste acque nelle regioni equatoriali ove gli strati caldi superiori non le riscaldano che con estrema lentezza, e a proporzione che vanno ricevendo qualche poco di ca-

lorico vengono sollevate da altre acque più fredde trasportate sotto ad esse dalle medesime correnti inferiori. Le correnti superiori intanto (le quali però sembrano essere alcun poco al di sotto della estrema superficie, parendo che le acque dell' Oceano Atlantico abbiano alla superficie una direzione contraria, dal polo Artico cioè verso l' Equatore, probabilmente per l' azione de' venti) le correnti superiori, dico, sono esposte a tutte le cause che tengono freddi i continenti delle regioni elevate, giacchè o vi sono esposte direttamente o si mescolano agevolmente colle acque della estrema superficie che da queste cause vengono raffreddate.

L' essere men grande ne' mari temperati la differenza di temperatura fra il fondo e la superficie è un fatto anch' esso poco difficile a spiegarsi, o che almeno si riferisce al fatto seguente, dipendendo dall' essere questi mari a minore distanza da quelle regioni ove la differenza suddetta cessa per dar luogo nelle latitudini ulteriori ad una legge contraria.

Ma l' essere nelle regioni polari più caldi i mari verso il fondo che alla superficie, se si vuol supporre che l' acqua sia tutta omogenea o egualmente salsa e che in essa non abbia luogo il massimo di densità, è un fenomeno di cui è molto difficile il dar ragione. Non sarebbe a vero dire malagevole cosa lo spiegare come quelle acque potessero scaldarsi per di sotto mentre alla superficie sono freddissime; si potrebbe fra le altre cause ricorrere al calore proprio della terra. Ma non si scorge come questo stato si possa mantenere, essendo contrario alle leggi dell' idrostatica. Se le sperienze di Herman (§ 623) sono esatte, e se sono altresì esatte le osservazioni di cui parliamo (vedi più sotto al § 659), sarà forza ammettere che le acque in sul fondo siano alcun poco più salse e più dense di quelle alla superficie.

628. Ond' è che in vicinanza dei laghi e dei mari si suole all' inverno avere una temperatura assai più mite che in mezzo de' continenti o lungi dalle rive? — Siccome nel raffreddarsi della superficie delle acque durante la fredda stagione, il moto idrostatico fa venire a galla quelle parti della massa acquea che si trovano a qualche profondità e che sono più calde, così

raffreddamento alla superficie, o sino al punto del assimo di densità se questo ha luogo o in caso diverso no alla congelazione del liquido, è molto più lento ne non su' terreni asciutti, ove la perdita del calorico er l' irradiazione verso gli spazii celesti non può venir parata che per conducibilità. In conseguenza di ciò nche l' aria che è a contatto della superficie di queste cque si raffredda meno di quella che è in contatto e' terreni asciutti.

Della Dilatazione de' fluidi aeriformi.

629. Abbiamo già parlato in altri luoghi della dilatazione di queste sostanze, e di varii effetti che ella produce (*). Nel primo volume poi al capo VI (§ 155) abbiamo anche esposto in qual modo si supponga operare il calorico nel produrre una siffatta dilatazione. Su questo ultimo punto adunque, come pure sul modo con che si crede operata la dilatazione de' liquidi e de' solidi, noi non ritorneremo più, riferendoci a quanto su ciò abbiamo detto allora. Ci occuperemo in vece in questo articolo intorno ad alcuni altri fenomeni che traggono origine dalla dilatazione de' fluidi aeriformi, e intorno alla precisa misura della dilatazione medesima.

630. *Cenni sui fenomeni prodotti dalla dilatazione de' fluidi aeriformi e in ispecie dell' aria.*

Quando una porzione di una estesa massa d' aria viene a riscaldarsi al di sopra della temperatura della massa rimanente, prendendo essa con ciò un maggior volume e rendendosi specificamente più leggiera di quest'altra, tende, come più volte abbiam detto, a sollevarsi verso l' alto; e viceversa s' ella divien più fredda si fa più densa e tende a discendere. Derivano di qui molti movimenti di questo fluido: la salita del fumo si ne' cammini come nelle combustioni che talora si

(*) Veggasi il volume I ai § 148, 155, 156, e il volume II al § 495.

operano all' aria libera; i movimenti dell' aria in alcune miniere ove d' inverno l' aria ascende ed esce dalle aperture superiori, e di state in vece discende ed esce dalle aperture inferiori (1); la salita dell' aria durante le ore calde sulle pendici delle montagne di alcune valli (2); i venti che spirano dal mare verso terra nelle ore più calde della giornata, e i venti che spirano dai continenti verso il mare nelle ore più fredde; il vento che suole spirare dalle montagne dopo la caduta delle prime nevi, ec.

631. In diversi luoghi montuosi vi sono degli spiragli dai quali nella state esce un soffio d' aria freschissima, e con tanto maggior forza quanto più calda è l' aria esteriore. Parecchi ne descrive Saussure ne' suoi Viaggi nelle Alpi (3). Uno di questi situato a Cesi nell' Umbria, ed appartenente alla famiglia Cesi, fu visitato da questo autore nel luglio del 1773: allora esso mandava fuori uno spiro della temperatura di $+5^{\circ}\,3/4$ R.; e quantunque nella giornata ch' ei visitò quel luogo l' aria esterna non fosse *molto calda*, pure questo soffio spegneva quasi i lumi che gli si portavano vicino. Nell' inverno in vece gli si disse che l' aria entra con violenza, specialmente se il freddo è rigoroso. Viene quest' aria ricevuta in una cantina ove quella famiglia tiene al fresco vini, frutta, ed ogni sorta di vettovaglie; trae ella altresì vantaggio da quel soffio per conservar fresche le bottiglie a tavola, per tener freschi gli appartamenti conducendovelo per opportuni condotti, ec. Altre cantine rinfrescate collo stesso mezzo si trovano sì a Cesi che in molti altri luoghi; p. e. nel territorio della Repubblica di S. Marino, a Chiavenna, a Caprino e in altri luoghi sul Lago di Lugano, ad Hergisweil nel Cantone di Un-

(1) Pictet nella *Bibl. Univ. Sc. et Arts*, t. XX, p. 281.
(2) Daubuisson, *Géognosie*, ediz. 1819, t. I, p. 33.
(3) § 1404 e seg.

lerwald. Dello stesso genere sono le *Ventarole* che i trovano in varii luoghi del Regno di Napoli e che ono grotte d' onde esce un' aria freddissima; una ve r' ha ad Ottajano a piè del Vesuvio, una nell' isola l' Ischia detta la *Ventarola della Funera*. Alcune al-re di simili grotte si trovano descritte nel nuovo Di-ionario fisico di Gehler all' articolo *Höhle* (1).

La cagione più probabile per non dir certa di questo fenomeno si è l' avervi in questi luoghi montuosi delle interne cavità con più aperture a diversa elevazione. Durante l' inverno l' aria che si trova contenuta in queste cavità essendo più calda e quindi specificamente più leggiera di quella esteriore tende ad innalzarsi; in forza di ciò entra dalle aperture inferiori dell' aria fredda a raffreddare l' interno delle cavità stesse prima nelle parti più basse e quindi nelle rimanenti, producendo un tale raffreddamento non solo col togliere il calorico per contatto, ma eziandio, per mezzo dell' evaporazione che essa aria promove in que' luoghi sempre grondanti d' acqua, entrandovi ella asciutta ed uscendone satura di umidità (2); e continua così fin verso la primavera, cioè fino al punto che raffreddatosi notabilmente l' interno della cavità e mitigatosi alquanto il freddo esterno, sianśi le due temperature

(1) Gehler's *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet.* Leipzig, 1825 e seg. t. V, p. 418.

(2) Qualche rara fiata può l'evaporazione essere causa di freddo anche all'estate, quando cioè la corrente aerea sia precedentemente passata da luoghi assai freddi della caverna medesima, ove raffreddatasi abbia deposto una parte del vapore acqueo che ella conteneva naturalmente; in questi casi una tale corrente arrivando fredda e secca nelle parti della caverna più vicine all' uscita e a noi più accessibili, può determinare in esse l'evaporazione dell' acqua che geme dalle pareti e con ciò raffreddare queste pareti stesse e più debolmente riscaldarsi essa medesima. Bellani nel *Giornale di Fisica di Pavia* pel 1816, a p. 111, cita un fatto nel quale entro una cantina sottoposta ad una ghiacciaja artificiale si vide gelar l'acqua d'estate, fatto ch' egli spiega appunto per mezzo dell' evaporazione.

esterna ed interna ridotte presso a poco uguali. Al l'estate poi l'aria interna, essendo più fredda e quindi più densa della esterna, tende a discendere e ad uscire dalle aperture inferiori, e ciò con tanto più forza quanto più le giornate sono calde cioè *quanto* maggiore è la differenza delle temperature; e *di qui* si ha il soffio freddissimo di cui si tratta. L'aria calda intanto che entra dall'alto fa riscaldare a poco a poco il luogo, talchè venendo l'autunno si riscalda alquanto anche il soffio e s'indebolisce. Avanzandosi poscia la stagione l'uscita dell'aria dall'apertura inferiore cessa, e il movimento si rovescia (*).

Quello però che è più singolare si è che in alcuni luoghi un tale fenomeno ha luogo in conseguenza dell'opera dell'uomo. Ciò è quello che si osserva a Roma nel Monte Testaceo. È questo una collina isolata d'un'altezza da due a trecento piedi, e che sembra interamente formata da rottami di anfore, di urne, e di altri vasi di terra, mostrando perciò di essere nel suo interno affatto permeabile all'aria. Verso la base esce alla state dagli interstizii di que' rottami un'aria freddissima, talchè in una delle cantine ivi praticate Saussure trovò nel primo di luglio 1773 una temperatura di $+5^{\circ}\,1/4$ R., in tanto che l'aria esteriore all'ombra era a $+20^{\circ}\,1/2$; e Nollet in una stagione più avanzata

(*) Si presentano però in alcune caverne de' fenomeni alla cui spiegazione sembra che i principii precedenti non bastino, o almeno non si sa ancora convenientemente applicarli. Tal è quella di Scelicze in Ungheria. Questa all'estate è freddissima al pari e più ancora di quelle poco sopra menzionate, di maniera che in questa stagione vi si suol formare tanto ghiaccio da caricarne 600 carri; nell'inverno invece ella è di una temperatura sì dolce, che vi si raduna una quantità di mosche, di zanzare, di pipistrelli, di gufi, e perfino di lepri le quali si pascono dell'erba che vi cresce all'ingresso. Prima però di tentare veruna spiegazione del fatto, sarebbe necessario che la grotta venisse osservata di mese in mese, affinchè si sapesse quando è che realmente il ghiaccio incomincia a formarsi, e quando è che incomincia a fondersi. V. Gehler's *Physikalisches Wörterbuch neu* etc. t. V, p. 417 e 421.

cioè il 9 settembre 1749 vi trovò ancora una temperatura di $+9^{\circ}\,{}^{1}/_{2}$ R., mentre il termometro all'aria aperta era a $+18^{\circ}$ (*). Trae un gran profitto la città di Roma da questa collina, essendovisi formate tutto all' intorno delle cantine attissime alla conservazione de' vini. Forse questo comodo, che a tutte le apparenze venne procurato a Roma senza diretta intenzione, potrebbe ottenersi anche in altri paesi meridionali ove difficilissimo riesce il trovar riparo dal caldo.

632. Quando la massa d' aria che si solleva si trova in mezzo all'atmosfera, può questa salita continuare sino ad altezze molto grandi; poichè, sebbene essa aria nello ascendere si dilati e si raffreddi, può però di leggieri avvenire che i nuovi strati, frammezzo a cui si trova dopo giunta ad una notabile elevazione, sieno ancora al di sotto della nuova temperatura di essa, in grazia della degradazione che ha luogo anche nella temperatura dell' atmosfera; in questo caso quella massa d' aria si innalzerà ancora, e così fino a tanto che siasi recata in un luogo ove abbia la stessa temperatura degli strati adjacenti, o almeno (s' ella contiene una diversa proporzione di vapore acqueo) abbia la stessa densità; la qual cosa o presto o tardi dee necessariamente avvenire, essendo la degradazione delle temperature dell' aria che si va sollevando, sempre più rapida di quella della tranquilla aria atmosferica.

Una tale salita dell' aria calda, alla quale dee necessariamente corrispondere una discesa dell' aria più fredda per venire ad occupare il luogo abbandonato, è la cagione di quel tremolio che mostrano d' estate gli oggetti lontani guardati con un cannocchiale. Ma su ciò torneremo nella Sezione VI.

633. *Legge della dilatazione de' fluidi aeriformi.* Molti autori occuparonsi a ricercare la legge della dilatazione di queste sostanze. Volta fu uno de' primi

(*) Saussure, *Voyages dans les Alpes*, § 1405.

a determinarla riguardo all' aria; in seguito si occuparono di questo soggetto Gay-Lussac e Dalton, i quali estesero le loro ricerche anche ad altri fluidi aeriformi; quindi i sigg. Dulong e Petit studiarono su questa dilatazione alle temperature superiori all' acqua bollente; Humphry Davy in fine la esaminò sotto diverse forze comprimenti.

Il metodo usato da Volta fu il seguente (*). Avendo preso un globo cavo di vetro che terminava in uno stretto tubo cilindrico minutamente graduato, e avendone diligentemente misurata la capacità, riempillo in parte con olio, lasciandone il resto pieno di aria. Poi fatto bollir l' olio, per discacciare tutta l' umidità aderente al vetro, turò col dito la bocca del recipiente, e capovolto lo sommerse in un picciol tino pieno d' acqua. Con ciò l' aria racchiusa sorse alla cima, occupando la capacità del globo e la superior parte del tubo, dove oltre alla pressione atmosferica ella sosteneva una parte di quella dell' acqua del tino, cui l' olio contenuto nel recipiente non faceva equilibrio che in parte. Ciò fatto, fece egli passare quest' aria per tutti i gradi di temperatura, da quella della fusione del ghiaccio sino a quella dell' acqua bollente, il che conseguì collo scaldare a poco a poco l' acqua del vaso ambiente. Osservava di grado in grado quanto si dilatasse nel tubo l' aria rinchiusa; e siccome la pressione non era sempre la medesima, perchè col deprimersi il termine di confine fra l' aria e l' olio si aumentava la pressione dovuta all' acqua, e da ciò sorgeva un piccolo impedimento alla intera e libera dilatazione di essa aria, così egli aveva cura di determinare l' errore e di farne la debita correzione. In tal maniera trovò che, non variando la pressione at-

(*) *Annali di Chimica di Brugnatelli*, t. IV, anno 1793. — *Collezione delle opere del conte Volta.* Firenze, 1816, t. III, p. 329 e seg.

mosferica durante la sperienza, per ogni grado di riscaldamento indicato da un termometro a mercurio a scala di Réaumur, cresceva il volume dell'aria pressochè uniformemente di circa $1/216$ del volume che aveva primitivamente alla temperatura 0°R., e che da 0° a +80°R. cresceva in volume nella proporzione di 100 a 137 circa (1).

Non sembra che il Volta abbia tenuto conto della piccola alterazione prodotta in questo fenomeno dalla dilatazione del vetro, la quale dilatazione fa comparire l'effetto alcun poco minore. Al risultamento da lui ottenuto è perciò da aggiungersi ciò che viene dissimulato dalla dilatazione cubica del vetro, la quale per un riscaldamento di 80°R. equivale a 0,0026 del volume a 0°. Mediante questa correzione la dilatazione dell'aria da 0° a +80°R. risulterebbe uguale a $(1{,}37 \times 1{,}0026 - 1)$ ossia a 0,3735 all'incirca del volume di essa aria a 0°. Con queste sperienze il nostro Volta confermò i risultamenti ottenuti precedentemente da Lambert e da Luz (2), e mostrò che tutti quelli ch'erano giunti a conseguenze differenti erano incorsi in errore per non avere ben saputo allontanare l'effetto dell'umidità, la quale svolgendosi in vapore aumentava ora più ed ora meno il volume dell'aria sottoposta alla sperienza.

634. Questi risultamenti del Volta vennero confermati alcuni anni dopo dal Gay-Lussac (3), il quale operando con diligenza ancor maggiore, e facendo le correzioni dipendenti dalla dilatazione del vetro, confermò che l'aria asciutta da 0° a +100°C. si dilata pressochè uniformemente, e determinò che l'aumento di volume fra questi due limiti è di 0,3750 ossia di $3/8$ del volume a 0°, e in conseguenza che per ogni grado

(1) *Collezione* ec., t. III p. 368.
(2) *Ibid.* p. 342.
(3) *Annales de Chimie*, Thérmidor an. 10. *Annales de Chimie et de Phys.* 1816, t. I, p. 110.

centigrado di riscaldamento la dilatazione è di 0,00375 ossia di $^3/_{800}$ ossia anche di $^1/_{266,67}$ del volume a 0°, e che per ogni grado di Réaumur ella è $^1/_{213,33}$ di questo volume.

Avendo in seguito estese le sue ricerche a *molti altri* fluidi aeriformi, all'ossigeno cioè, all'idrogeno, all'azoto, al gas acido carbonico, ec., trovò che essi si dilatano tutti precisamente come l'aria. Di qui egli conchiuse che tutti i fluidi aeriformi permanenti sì semplici che composti si dilatano con una stessa legge, cioè tutti uniformemente e d'una medesima quantità.

Verificò egli questa conclusione anche nel vapore dell'etere solforico; e Dalton la estese altresì al vapore acqueo, e all'aria mista di vapore acqueo, e in genere ai diversi vapori sì puri che misti. È da ritenersi adunque che anche questi si dilatano precisamente come i gas, della stessa quantità cioè e colla medesima uniformità, semprechè però durante il loro riscaldamento non se ne venga a formare una nuova quantità per l'evaporazione d'altro liquido.

635. Furono queste sperienze, rispetto all'aria comune e al gas idrogeno, rivedute recentemente e confermate da Dulong e Petit (*). Però avendo essi esteso le loro ricerche anche alle temperature superiori all'acqua bollente, trovarono che per queste non si manteneva più l'accordo fra i gradi indicati da un termometro a mercurio e la dilatazione de' fluidi aeriformi; ben riconobbero che questi si dilatano tutti con una stessa legge anche alle temperature elevate, ma però s'accertarono che, misurando i gradi col termometro a mercurio, la dilatazione si va rendendo tanto più lenta quanto più la temperatura si eleva.

Il metodo da essi adoperato in queste ricerche fu il seguente:

1.° Per misurare le temperature in gradi del termo-

(*) *Annales de Chimie et de Phys.* t. VII, p. 117.

metro a mercurio, esponevano essi al calore che volevano determinare il recipiente di vetro ripieno di mercurio e terminato con sottil becco, del quale abbiamo parlato al § 615. Dalla quantità del mercurio che usciva determinavano essi la dilatazione apparente del mercurio nel vetro, poichè il rapporto apparente fra l' aumento del volume e il volume primitivo era data dal rapporto fra la quantità di mercurio che usciva e la quantità che rimaneva nel recipiente, e da questa dilatazione apparente poi essi deducevano la temperatura ricercata espressa in gradi del termometro a mercurio mediante la seguente semplicissima proporzione: il cercato numero de' gradi centigradi dati alla temperatura in questione da un termometro a mercurio sta al numero 100, come la determinata apparente dilatazione del mercurio sta alla apparente dilatazione del medesimo da 0° a +100° cioè a $1/64{,}8$ del volume primitivo.

2.° Per determinare la dilatazione dell' aria corrispondentemente alle temperature misurate nel modo or ora indicato, esponevano a queste temperature un cilindro di vetro ripieno di aria asciuttissima e terminato con un collo sottilissimo; quando stimavano che quest' aria avesse acquistata la temperatura che intendevano di darle chiudevano colla lucerna l' estremità del collo, e quindi dopo ch' essa aria si era nuovamente raffreddata rompevano la suddetta estremità in un vaso pieno di mercurio; e dal volume a cui l' aria con ciò si restringeva paragonato col volume ch' ella aveva essendo calda, fatta altresì la correzione per la dilatazione del vaso (di cui conoscevano la capacità ai diversi gradi del termometro a mercurio), determinavano la dilatazione ch' ella aveva provato.

Avvertono i due sperimentatori che per gli altri fluidi aeriformi, i quali si debbono preservare dal mescolamento coll' aria, il sottilissimo collo con cui termina il recipiente che li contiene, non dee star aperto

all'aria libera, ma dev'essere ripiegato ed immerso colla bocca in un vaso di mercurio: in questo caso si risparmia la fusione dell'estremità del collo.

I risultamenti ottenuti da questi due autori si trovano esposti nella seguente tavola, la quale per essere intesa non ha bisogno di spiegazione.

Temperature indicate da un termometro a mercurio a scala centigrada.	Volumi corrispondenti di una medesima massa d'aria.	Temperature indicate da un termometro ad aria, pure a scala centigrada, corrette dalla dilatazione del vetro.
— 36°	0,8650 . . .	— 36°
0	1,0000 . . .	0
+100	1,3750 . . .	+100
150	1,5576 . . .	148,70
200	1,7389 . . .	197,05
250	1,9189 . . .	245,05
300	2,0976 . . .	292,70
360 Bollimento del mercurio	2,3125 . . .	350,00

636. È questa la legge secondo cui si dilatano i fluidi aeriformi, essendo contenuti entro capacità ove si possano allargare, e venendo compressi da una forza che non varii durante il cangiamento di temperatura.

Quando in vece essi fluidi sieno chiusi in vasi inestensibili, l'aumento della temperatura accresce la loro forza espansiva, e ciò, secondo i medesimi due autori, con una legge affatto simile a quella dell'accrescimento del volume nel caso precedentemente contemplato. Vale a dire che per ogni grado centigrado di cui si aumenti la temperatura, la pressione esercitata

sulle pareti cresce pressochè uniformemente di $^1/_{266,67}$ della grandezza ch' ella ha a 0°, semprechè però questa temperatura, supposta misurata da un termometro a mercurio, non sia superiore al grado dell' acqua bollente; e passando questa temperatura da —36°C. a 0°C., a +100°C., a +150°C., ec. la forza espansiva medesima cresce come i numeri 0,8650; 1,0000; 1,3750; 1,5576, ec., precisamente cioè come i numeri che veggonsi nella seconda colonna della tavola precedente (*).

È questa, a dir vero, una necessaria conseguenza della legge di Mariotte. Suppongasi in fatti che una massa d' aria tenuta sotto la pressione costante di 76 centimetri di mercurio, siasi, p. e., riscaldata da 0° a +100°C., e che per conseguenza il suo volume siasi aumentato nella proporzione di 1 a 1,375: se noi vorremo ridurre quest' aria calda al volume primitivo cioè restringerla di spazio nella proporzione di 1,375 a 1, conservandole la temperatura di +100°C. statale comunicata, converrà per la legge di Mariotte aumentare la pressione nella contraria proporzione di 1 a 1,375, ossia dai 76 centimetri portarla a centimetri 104,5. Per riscaldare adunque una massa d' aria da 0° a +100°C. senza ch' ella cresca di volume, è d' uopo aumentare la forza che la tien compressa in ragione di 1 a 1,375. In generale, quando la legge di Mariotte continui a valere sino alla temperatura di +360°C. indicati da un termometro a mercurio, la tavola del § 635 serve con tutta esattezza a dare anche il valore della forza espansiva dell' aria e degli altri fluidi aeriformi corrispondentemente alle temperature ivi indicate, nel caso che il vaso ove sono contenuti sia incapace di dilatazione. Siccome però la legge di Mariotte non era stata precedentemente verificata che alle temperature ordinarie, così doveva determi-

(*) Dulong e Petit negli *Annales de Chimie et de Physique*, t. VII, p. 112.

narsi direttamente per mezzo della sperienza una cotal legge dell'aumento della forza espansiva; e ciò è appunto quello che venne fatto da Dulong e Petit.

637. Una conseguenza della legge di Mariotte è altresì il risultamento trovato prima da Amontons e poscia confermato da Humphry Davy, cioè che l'aria e tutti in genere i fluidi aeriformi venendo esposti al calore si dilatano colla medesima legge a tutte le pressioni alle quali essi possono essere sottomessi. Avendo Davy cimentato l'aria a varie pressioni da $^1/_6$ d'atmosfera sino alle 2 atmosfere, trovò che in tutti i casi per uno stesso aumento di temperatura ella si dilata della medesima frazione del volume primitivo.

È facile a vedersi come questo risultamento dipenda anch'esso dalla legge di Mariotte. Supponiamo in fatti che due masse d'aria entrambe a 0°, ed entrambe d'egual volume, ma l'una posta sotto la pressione di un'atmosfera, e l'altra sotto quella di due atmosfere, e per conseguenza colle densità e colle masse nella ragione di 1 a 2, vengano riscaldate sino a +100° C., senza che variino intanto le pressioni loro. Siccome anche alla nuova temperatura esse si trovano sotto due pressioni che stanno come 1 a 2, così, quando la legge di Mariotte valga eziandio a +100° C., dovranno le densità essere ancora come 1 a 2, e i volumi dopo aumentati dovranno essere uguali. Ma il volume di quella massa d'aria che è sotto a un'atmosfera di pressione, passando a +100° C. si dilata in ragione di 1 a 1,375; dunque in questa medesima ragione deve dilatarsi anche la massa posta sotto la pressione di due atmosfere. Questo fatto però, per le stesse ragioni che abbiam dette poco sopra, non poteva ammettersi, se non dopo che la sperienza lo avesse comprovato. Ma presentemente noi possiamo ritenere con tutta sicurezza e dentro a limiti molto estesi sì riguardo alle temperature che riguardo alle pressioni: 1.° Che la legge di Mariotte vale a qualsivoglia

temperatura; 2.° Che la legge della dilatazione de' fluidi aeriformi vale sotto qualsivoglia pressione.

638. Facciamo un' applicazione delle dimostrate leggi alla soluzione di un problema. Supponiamo che una massa d'aria asciutta della temperatura di +13°C., chiusa entro un vaso di capacità invariabile e dotata di una forza espansiva uguale alla pressione di millimetri 761,4409 di mercurio, venga ridotta per mezzo del raffreddamento a non aver più che una forza espansiva di millim. 757. Di quanti gradi centigradi sarà questo suo raffreddamento?

Chiamando x il numero di questi gradi, noi avremo la proporzione

$$761{,}4409 : 757 :: 1+13.0{,}00375 : 1+(13-x).0{,}00375$$

ossia

$$761{,}4409 : 757 :: 1{,}04875 : 1{,}04875 - x.0{,}00375$$

da cui si trae

$$x = \frac{4{,}4409.1{,}04875}{761{,}4409.0{,}00375} = 1{,}6310$$

come si era asserito al § 445.

639. *Riduzione de' gradi del termometro a mercurio ai gradi del termometro ad aria.* La piccola tavola esposta al § 635 venendo estesa per mezzo delle interpolazioni a tutti i gradi del termometro centigrado a mercurio compresi fra i termini —36°C. e +360°, può servire a ridurre i gradi dati da uno di questi termometri ai gradi che verrebbero dati, corrispondentemente alla stessa intensione del calore, da un termometro ad aria. E da questa tavola così completata, nella quale sono interi i gradi del termometro a mercurio, e frazionarii in generale quelli del termometro ad aria, se ne può facilmente ricavare un' altra ove si abbiano que' gradi, generalmente frazionarii, del termometro a mercurio i quali corrispondono ai varii gradi interi del termometro ad aria. Ecco alcuni de' principali termini di questa seconda tavola.

Termometro ad aria corretto dalla dilatazione del vetro.	Termometro a mercurio.
— 36° C.	— 36° C.
0	0
+100	+100
200	203,20
300	307,64
350	360,00 (*)

Coll'ajuto di questa seconda tavola supposta completa si possono rapportare ai gradi del termometro ad aria le dilatazioni apparenti e reali di diversi corpi le quali possono essersi trovate colle sperienze dirette corrispondentemente a' gradi del termometro a *mercurio*. Possiamo avere, a cagione d'esempio, la dilatazione del vetro a +200° C. del termometro ad aria determinando col calcolo qual sia quella che corrisponde a +203°,20 del termometro a mercurio. Si può da noi concepire che siansi trovate in cotal *modo* da Dulong e Petit le dilatazioni del mercurio e del vetro corrispondenti ai gradi del termometro ad aria superiori a +100° C., e che si veggono riportate nelle tavole del § 641.

Facendo uso del termometro ad aria, cessa in questo fluido aeriforme l'ineguaglianza nella legge della dilatazione; il che è ben chiaro dal vedere che ven-

(*) I primi tre e l'ultimo de' numeri della seconda colonna si hanno dalla tavola del § 635. Il quarto lo abbiamo ricavato dal considerare che da 0° a +200° C. (determinati da un termometro ad aria) la dilatazione apparente del mercurio, secondo Dulong e Petit, è $^{200}/_{6378}$, mentre da 0° a +100° C. ella è di $^{100}/_{6480}$: si ha in fatti

$$\frac{100}{6480} : \frac{200}{6378} :: 100 : 203{,}20$$

Il quinto si trova citato negli *Annales de Chimie et de Physique*, t. VII, p. 137.

ono indicati uguali gradi di riscaldamento allorchè aria soffre delle uguali dilatazioni. E lo stesso avvien ure di tutti gli altri fluidi aeriformi, i quali vengono mostrare una dilatazione regolarissima e per tutti niforme. E una tale regolarità è quasi esatta anche er riguardo alla dilatazione apparente di questi fluidi iiusi in vasi solidi, p. e. di vetro, stante la differnza piccolissima che vi ha fra questa dilatazione e dilatazione reale.

Per darne un esempio, noi possiamo rammentare che la ilatazione reale di un fluido aeriforme per ciascun grado entigrado di riscaldamento misurato da un termometro ad ria, è di 0,003750 del suo volume a 0°. Chiamato perciò 1 questo volume a 0°, sarà 1,375 il volume reale a +100°C; e siccome secondo Petit e Dulong la dilatazione ubica del vetro da 0° a +100° è di 0,002584 del volume ello stesso vetro a 0°, così posto = 1 anche il volume apparente del medesimo fluido aeriforme a 0°, sarà $1{,}375/1{,}002584$, ssia 1,3714 il suo volume apparente a +100°, e sarà 0,3714 a dilatazione apparente del medesimo per tutto l'intervallo la 0° a +100°, e 0,003714 la sua dilatazione media apparente per un grado centigrado fra 0° e +100°, e tale sarà nche la sua dilatazione apparente pel riscaldamento di 1°C. verso i +50°C. Essendo poi, secondo i detti autori, la dilatazione cubica del vetro, da 0° a +300°C. del termometro ad aria, uguale a 0,009120 del volume di esso a 0°, ne succede che poste le stesse convenzioni il volume apparente del fluido aeriforme a +300° è misurato da $\frac{1+3.0{,}375}{1{,}009120}$, ossia da 2,1058, e che la dilatazione apparente da 0° a +300° è 1,1058, e che perciò la media dilatazione apparente per ogni grado centigrado fra 0° e +300° (ossia prossimamente la dilatazione per un sol grado verso la temperatura di +150°C.) è 0,003686, quantità poco minore di 0,003714.

La disuguaglianza si trasporta in vece nella dilatazione del mercurio chiuso in recipienti di vetro, la quale dilatazione viene allora a partecipare della stessa

irregolarità che si presenta generalmente in tutti gli altri corpi, cioè viene a rendersi più grande alle temperature elevate che alle basse; la qual cosa si può facilmente riconoscere coll'osservare nella breve tavola precedente l'andamento de' gradi del termometro a mercurio in paragone di quelli del termometro ad aria.

640. *Osservazione.* Asserisce Gay-Lussac che il termometro ad aria e quello a mercurio fra 0° e +100°C. vanno esattamente d'accordo. Dulong e Petit non dichiarano esplicitamente la loro opinione; ma dalle loro sperienze par che risulti che verso i +50°C. (ove la differenza fra i due termometri è più grande che in qualsivoglia altro punto fra 0° e +100°) debba il termometro a mercurio trovarsi indietro di $^4/_{10}$ di grado centigrado dal termometro ad aria; pare cioè che allorquando un esatto termometro ad aria (supposto corretto dall'effetto della dilatazione del vetro) segna +50° C., un esatto termometro a mercurio (un termometro cioè i cui gradi sieno in esatta corrispondenza colle dilatazioni apparenti del mercurio nel vetro) debba segnare appena +49°,60 C. Dalle loro sperienze in fatti si ha che la dilatazione apparente del mercurio nel vetro per un grado centigrado di riscaldamento verso i +50°C. misurati da un termometro ad aria (cioè la media dilatazione apparente fra 0° e +100°) è di $^1/_{6480}$, mentre quella verso i +100° (la media dilatazione apparente fra 0° e +200°) è di $^1/_{6378}$. Supponendo adunque che una tal dilatazione apparente cresca in ragione di $^1/_{6480}$ a $^1/_{6378}$ anche nel passare da +25° a +75°, e che però la totale dilatazione da 0° a +50° stia alla totale dilatazione fra +50° e +100° come $^1/_{6480}$ sta a $^1/_{6378}$, noi avremo nel termometro a mercurio una dilatazione apparente di 49,60 fra 0° e +50° misurati dal termometro ad aria, ed una dilatazione apparente di 50,40 fra +50° e +100° dati dal termometro medesimo, giacchè le quantità 49,60, e 50,40 stanno appunto fra loro nella ragione delle due frazioni suddette. Anche Deluc stimava alcun poco scarsi i gradi indicati da un termometro a mercurio (vedi più sotto al § 651).

DELLE DILATAZIONI DI DIVERSE SOSTANZE

Dilatazioni lineari di varii solidi in parti della lunghezza a 0°.

Nomi delle sostanze	Dilatazione da 0° a +100° C.	Dilatazione per 1° C. di riscaldamento		Nomi degli osservatori.
		in frazioni decimali.	in frazioni comuni.	
Acciajo non temperato	0,00107875	0,00001079	1/92700	Lap. e Lav. (1)
Id.	0,00107958	0,00001080	1/92630	*Id.*
Id.		0,00001072	1/93280	Carlini (2)
Acciajo temperato a giallo, fatto ricuocere sino a +30° (probabilmente di R.)		0,00001369	1/73000	Lap. e Lav.
Id.		0,00001386	1/72160	*Id.*
Acciajo temperato a giallo, ricotto a +65° (prob. di R.)	0,00123956	0,00001240	1/80670	*Id.*
Argento di coppella	0,00190974	0,00001910	1/52350	*Id.*
Bronzo formato da 1 di stagno con 8 di rame	0,00181667	0,00001817	1/55030	Smeaton (3)
Ferro dolce lavor. a martello	0,00122045	0,00001220	1/81950	Lap. e Lav.
Id. passato dalla trafila	0,00123217	0,00001232	1/81160	*Id.*
altro ferro dolce		0,00001200	1/833 e	Carlini
altro	0,00118203	0,00001182	1/84600	Dul. e Pet. (4)
Id. media da 0° a +300° C. (term. ad aria)		0,00001468	1/68100	*Id.*
Flintglass inglese	0,00080106	0,00000801	1/124800	Lap. e Lav.
Flintglass franc. (*verre avec plomb*)	0,00087199	0,00000872	1/114700	*Id.*
Ghiaccio		0,00024512	1/40800	Heinrich (5)
Oro fino	0,00146606	0,00001466	1/68200	Lap. e Lav.
oro al titolo di Parigi, ricot.	0,00151361	0,00001514	1/66030	*Id.*
Id. non ricotto	0,00155155	0,00001552	1/64430	*Id.*
Ottone	0,00186871	0,00001869	1/53510	*Id.*
Id.	0,00188971	0,00001890	1/52940	*Id.*
Id.		0,00001808	1/55300	Carlini
Piombo	0,00284836	0,00002848	1/35110	Lap. e Lav.
Platino	0,00085655	0,00000857	1/116750	Borda (6)
Id.	0,00088417	0,00000884	1/113100	Dul. e Petit
Id. media da 0° a +300° (term. ad aria)		0,00000918	1/108900	*Id.*
Rame	0,00171222	0,00001712	1/58400	Lap. e Lav.
Id.	0,00172244	0,00001722	1/58060	*Id.*
Id.	0,00171821	0,00001718	1/58200	Dul. e Petit
Id. media da 0° a +300° (term. ad aria)		0,00001883	1/53100	*Id.*
Stagno fino di Malacca	0,00193765	0,00001938	1/51610	Lap. e Lav.

Nomi delle sostanze	Dilatazione da 0° a +100° C.	Dilatazione per 1° C. di riscaldamento: in frazioni decimali.	Dilatazione per 1° C. di riscaldamento: in frazioni comuni.	Nomi degli osservatori.
Stagno di Falmouth	0,00217298	0,00002173	1/46,0	Lap. e Lav.
Vetro comune { minima	0,00087572	0,00000876	1/114000	Id.
Vetro comune { massima	0,00091751	0,00000918	1/109000	Id.
Vetro senza piombo	0,00086133	0,00000861	1/116000	Dul. e Petit
Id.				
Id. media da 0° a +200° (term. ad aria)	. . . . .	0,00000918	1/109000	Id.
Id. media da 0° a +300° (term. ad aria)	. . . . .	0,00001013	1/98700	Id. (7)
Zinco fuso	0,00294167	0,00002942	1/33950	Smeaton
Id. allungato col martello di 1/12	0,00310833	0,00003108	1/32170	Id.

II. *Dilatazione cubica di alcuni fluidi in parti del volume a 0°:*

Nomi delle sostanze	Dilatazione totale fra i limiti indicati.	Dilatazione per 1° C. di riscaldamento: in frazioni decimali.	Dilatazione per 1° C. di riscaldamento: in frazioni comuni.	Nomi degli osservatori.
Mercurio: dilatazione reale				
da 0° a +100° C., ...	0,018018	0,00018018	1/4450	Dul. e Petit
da 0° a +200° (T. ad aria).	0,036866	0,00018433	1/5425	Id.
da 0° a +300° (T. ad aria).	0,056604	0,00018868	1/5300	Id.
Id. dilat. apparente nel vetro				
da 0° a +100°	0,015432	0,00015432	1/6480	Id.
da 0° a +200° (T. ad aria).	0,031358	0,00015679	1/6379	Id.
da 0° a +300° (T. ad aria).	0,047483	0,00015828	1/6318	Id.
Alcool, della densità 0,825:				
dilat. reale da 0° a +100°.	0,125485	. . . . .	. . .	Gil. e Blag. (8)
dilat. apparente nel vetro da 0° a +100°.	0,122526	. . . . .	. . .	Id.
Acqua: dilatazione reale da 0° a +100°.	0,0466			
dilat. apparente nel vetro da 0° a +100°.	0,04386	. . . . .	. . .	(9)
Fluidi aeriformi: dilat. reale da 0° a +100°.	0,3750	0,003750	. . .	Gay-L., D. e P.

III. *Densità e volumi dell'acqua da* 0° *a* +30°*C.* (10).

Temperature	Presi per unità la densità e il volume a 0°C.		Presi per unità la densità e il volume al massimo di densità.	
	Densità	Volumi	Densità	Volumi
0°C.	1,0	1,0	0,9998918	1,0001082
1	1,0000466	0,9999536	0,9999382	1,0000617
2	1,0000799	0,9999202	0,9999717	1,0000281
3	1,0001004	0,9998996	0,9999920	1,0000078
4	1,00010817	0,99989184	0,99999995	1,00000005
4,1	1,00010824	0,99989177	1,0	1,0
5	1,0001032	0,9998968	0,9999950	1,0000050
6	1,0000856	0,9999144	0,9999772	1,0000226
7	1,0000555	0,9999445	0,9999472	1,0000527
8	1,0000129	0,9999872	0,9999044	1,0000954
9	0,9999579	1,0000421	0,9998497	1,0001501
10	0,9998906	1,0001094	0,9997825	1,0002175
11	0,9998112	1,0001888	0,9997030	1,0002970
12	0,9997196	1,0002804	0,9996117	1,0003888
13	0,9996160	1,0003841	0,9995080	1,0004924
14	0,9995005	1,0004997	0,9993922	1,0006081
15	0,9993731	1,0006273	0,9992647	1,0007357
16	0,9992340	1,0007666	0,9991260	1,0008747
17	0,9990832	1,0009176	0,9989752	1,0010259
18	0,9989207	1,0010805	0,9988125	1,0011888
19	0,9987468	1,0012548	0,9986387	1,0013631
20	0,9985615	1,0014406	0,9984534	1,0015490
21	0,9983648	1,0016379	0,9982570	1,0017460
22	0,9981569	1,0018465	0,9980489	1,0019549
23	0,9979379	1,0020664	0,9978300	1,0021746
24	0,9977077	1,0022976	0,9976000	1,0024058
25	0,9974666	1,0025398	0,9973587	1,0026483
26	0,9972146	1,0027932	0,9971070	1,0029016
27	0,9969518	1,0030575	0,9968439	1,0031662
28	0,9966783	1,0033328	0,9965704	1,0034414
29	0,9963941	1,0036189	0,9962864	1,0037274
30	0,9960993	1,0039160	0,9959917	1,0040245

ANNOTAZIONI

(1) Le dilatazioni determinate da Laplace e Lavoisier si sono prese dal *Traité de Physique* di Biot, t. I, p. 158, corretti però alcuni piccoli errori di stampa riguardanti il flintglass inglese, il ferro passato dalla trafila, l'ottone, e lo stagno di Falmouth.

(2) Questo e gli altri risultamenti dell'astronomo Carlini che si trovano qui registrati, sonosi presi dalle *Efemeridi Astronomiche* di Milano per l'anno 1824, nell'Appendice a pag. 34.

(3) I risultamenti di Smeaton riguardanti la dilatazione del bronzo e dello zinco si sono tolti dagli *Élémens de Physique* di Pouillet, t. I, p. 276.

(4) I risultamenti trovati da Dulong e Petit sonosi presi dalla loro memoria inserita negli *Annales de Chimie et de Physique*, t. VII, p. 136, 138, 141. Veggasi però intorno a questi l'ultima nota al § 604, e quella al § 615.

(5) La dilatazione del ghiaccio si è desunta dal Gehler's *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, t. I, p. 571, il quale si riporta agli *Schriften der kön. Bayerschen Academie der Wissensch.* 1806. II. *Abtheil.* p. 149.

(6) Biot, *Traité de Physique*, t. I, p. 158.

(7) Sono questi numeri le terze parti delle quantità $^1/_{3[illegible]}$, $^1/_{16300}$ $^1/_{3[illegible]}$, le quali da Dulong e Petit (*Ann. de Ch. et de Ph.* t. VII, p. 138) si ammettono come valori delle medie dilatazioni cubiche del vetro per 1° C. di riscaldamento fra 0° e +100° C., fra 0° e +200°, e fra 0° e +300°, rispettivamente. Questi ultimi valori poi sonosi da essi ottenuti col prendere la differenza fra le medie dilatazioni reali del mercurio, pure per 1° C. di riscaldamento e fra gli stessi limiti, le quali sono $^1/_{5340}$, $^1/_{[illegible]}$, $^1/_{5300}$ rispettivamente, e le medie dilatazioni apparenti dello stesso nel vetro prese nel medesimo modo, le quali sono $^1/_{6480}$, $^1/_{[illegible]}$, $^1/_{[illegible]}$. Però da queste dilatazioni del mercurio (moltiplicate rispettivamente per 100, per 200 e per 300, onde ottenere le totali dilatazioni reali ed apparenti del mercurio fra i limiti menzionati), usando della regola esposta nella nota al § 615, si sarebbero cavate per le totali dilatazioni cubiche del vetro le quantità

0,002546 ; 0,005341 ; 0,008707,

per le totali dilatazioni lineari di esso fra i medesimi limiti le quantità

0,000848 ; 0,001777 ; 0,002894,

e per le medie dilatazioni lineari del medesimo fra gli stessi limiti, per 1° C. di riscaldamento, le quantità

0,00000848 ; 0,00000888 ; 0,00000965

(8) Questi due risultamenti di Gilpin e Blagden si sono presi al citato Gehler's *Physikalisches Wörterbuch*, t. I, p. 622.

(9) La dilatazione apparente dell'acqua nel vetro si è tolta agli *Élémens de Physique* di Pouillet, t. I, p. 267; e se n'è edotta la dilatazione reale col moltiplicare il volume apparente ,04386 per la capacità aumentata del vetro 1,002584.

(10) Questa tavola, che si è creduta utile in molte occorrenze, e. nella misura delle gravità specifiche dei corpi, è dovuta l sig. Hällström, e si è presa dagli stessi *Élémens de Physique* di Pouillet, t. I, p. 288, correggendo alcuni piccoli errori li stampa incorsi ne' numeri che corrispondono alle temperature 4°, 10°, 21°.

CAPO IX.

DELLA COSTRUZIONE E DELL'USO DE' TERMOMETRI

642. Una importantissima applicazione della *dilatazione* de' corpi è quella fattasene alla fabbricazione della maggior parte degli strumenti destinati a misurare le temperature, vale a dire de' *Termometri*. Fra questi noi faremo brevemente conoscere la forma e gli usi di quelli che vengono più comunemente adoperati.

I Termometri più usitati sono quelli fondati sulla dilatazione dei liquidi; e in ispecie quelli a mercurio e quelli ad alcool.

De' comuni Termometri a mercurio e ad alcool.

§. 643. *Termometro a mercurio a scala di Celso o centigrada.* Noi cominceremo ad esporre brevemente in qual modo si costruiscano in generale i Termometri a mercurio; diremo quindi come essi vengano graduati secondo il metodo della scala centigrada.

Per costruire un Termometro a mercurio, si comincia a scegliere un tubo di vetro di cavità molto sottile o capillare e che sia ben *calibro*, vale a dire che abbia uniforme per tutta la sua lunghezza il diametro dell'interna cavità; il che si riconosce col far muovere lungo questa cavità una goccia di mercurio, e coll'osservare se questa si conserva dappertutto ugualmente lunga. Quando non si riesce a trovar tubo che sia calibro, si ha l'avvertenza, nello adattare la scala a quel tubo che si presceglie, di fare nella debita proporzione più vicine le divisioni de' gradi nelle parti dove il diametro è maggiore, e più lontane quelle

ove il diametro è minore, in modo che esse divisioni separino degli intervalli di uguale capacità.

Ciò fatto, si soffia ad una delle estremità del tubo, col mezzo della lucerna, una bolla di quella grandezza che la pratica fa conoscere adattata alla estensione che vuol darsi alla graduazione dello strumento, ovvero si salda alla estremità del tubo un piccolo recipiente cilindrico pur di vetro la cui cavità comunichi con quella del tubo. Però a pari grossezza di pareti la forma sferica ha il pregio di essere la meno soggetta a venire alterata di figura pel variare della pressione atmosferica

Per riempirlo quindi di mercurio, si fanno primieramente scaldare sopra i carboni accesi sì il tubo che il bulbo per discacciare una parte dell'umidità e dell'aria contenutavi; di poi si tuffa immediatamente la estremità aperta del tubo in una sufficiente massa di mercurio purissimo e caldo, e si tiene in questa posizione sino a che l'aria residua raffreddatasi lasci entrare un po' di mercurio nel bulbo, spintovi dalla pressione atmosferica; raddrizzato indi il tubo si scalda una seconda volta il suddetto bulbo, e vi si fa bollire il mercurio per discacciare del tutto l'aria e l'umidità dallo strumento, e si riempie quindi interamente di mercurio. Ciò eseguito, si chiude il tubo mediante la fusione del vetro, avvertendo però che il mercurio sia intanto ben caldo cioè appena più caldo della più alta temperatura a cui dovrà in seguito venire esposto lo strumento, e che così caldo esso mercurio riempia il tubo per tutta la sua lunghezza; la quale ultima avvertenza giova all'oggetto che non rimanga nel tubo veruna quantità sensibile di aria, la quale nello adoperare lo strumento a temperature elevate potrebbe, fra gli altri inconvenienti, venire troppo condensata e fare scoppiar la bolla.

Noi ommettiamo l'esposizione di diverse minute pratiche che si usano nel formare la bolla, nel riem-

pirla di mercurio, nel togliere le interruzioni e le bollicine aeree che talvolta si manifestano nella colonna del mercurio dopo costruito lo strumento, ec., essendo tutte cose che non si possono imparare che coll'uso.

644. Prima di graduare lo strumento, convien *lasciarlo* riposare per alcuni mesi o per un anno; *e ciò* per togliere l'errore prodotto dalla permanente dilatazione che contrae il vetro fortemente riscaldato (§ 604). Dopo questo riposo lo si pone in una mescolanza d'acqua con neve o ghiaccio pestato, e si segna 0° nel luogo ove stabilmente si ferma la colonna del mercurio. Nel che si dee por cura che il ghiaccio e l'acqua siano purissimi; che si trovino circondati dal ghiaccio o dalla neve tanto il bulbo quanto la parte del tubo fino a cui arriva il mercurio, avvertendo che l'acqua ch'è in fondo del vaso è in generale a una temperatura superiore a 0°; che il vaso ove si fa l'operazione non sia esposto alla luce solare, e nemmeno a una luce ripercossa troppo forte (§ 502); in fine che il termometro rimanga immerso fino a tanto che l'estremità superiore della colonna del mercurio siasi resa stazionaria, al che però un minuto o due sono in generale sufficienti.

645. Poscia si espone lo strumento alla temperatura dell'acqua bollente onde avere un secondo punto fisso; al quale oggetto il mezzo migliore è quello di collocarlo in mezzo al vapore dell'acqua pura che fortemente bolla, come fu primieramente proposto di Cavendish (*). Se la pressione atmosferica indicata da un barometro col mercurio a 0°, è di 760 millimetri, si segna col preciso numero 100° (trattandosi di scala centigrada) il punto dove a questa temperatura rimane stazionaria la superiore estremità della colonna del mercurio del termometro, e quindi si divide l'intervallo in 100 parti di uguale lunghezza se il tubo è calibro, o almeno in 100 parti

(*) *Phil. Trans.* t. LXVI, p. 380.

di uguale capacità in caso diverso, notando ne' punti di divisione presi di 5 in 5 ovvero di 10 in 10 i loro corrispondenti numeri da 0 a 100. Quando l'uso particolare dello strumento il voglia, si continuano le divisioni e i numeri anche al di sopra di +100°, seguitando a prendere della stessa capacità di prima le parti della cavità del tubo comprese fra i varii punti di divisione; quasi sempre poi si continua la graduazione per alcuni gradi al di sotto di 0°, contrassegnando i punti di divisione con numeri che vadano crescendo dallo zero all'ingiù.

Se poi il barometro, col mercurio ridotto a 0°, segna più di 760 millimetri, in questo caso, essendo la temperatura dell'ebullizione più elevata che sotto la pressione di 760 millimetri, come più ampiamente spiegheremo altrove, dovrà segnarsi il grado 100 alcun poco al di sotto del punto ove arriva la colonna del mercurio nel vapore dell'acqua fortemente bollente, detraendo tanta parte dell'intervallo fra lo zero e il punto dell'ebullizione, quanta è indicata dalla breve tavola seguente. E viceversa se il barometro indica meno de' 760 millimetri, converrà segnare il 100° più alto, aggiungendo quella parte del già accennato intervallo la quale è data dalla tavola seguente medesima. In questa la prima colonna esprime in parti del metro le altezze del barometro, fatta la riduzione del mercurio a 0°; e la seconda mostra le quantità che debbono aggiungersi o togliersi all'intervallo compreso fra il punto della congelazione e quello dell'ebullizione sotto le pressioni indicate, onde avere il punto dell'ebullizione corrispondente ai 760 millimetri di mercurio, le quali quantità sono espresse in parti dell'intervallo suddetto supposto rappresentato da 1.

Altezze del barometro col mercurio a 0	Quantità da levarsi o da aggiungersi	
0^m,7825	0,010	
0, 7847	0,009	
0, 7819	0,008	
0, 7791	0,007	
0, 7764	0,006	Da levarsi
0, 7736	0,005	
0, 7709	0,004	
0, 7681	0,003	
0, 7654	0,002	
0, 7627	0,001	
0, 7600	0,000	
0, 7573	0,001	
0, 7546	0,002	
0, 7520	0,003	
0, 7493	0,004	
0, 7467	0,005	
0, 7441	0,006	
0, 7415	0,007	
0, 7389	0,008	
0, 7363	0,009	
0, 7337	0,010	Da aggiungersi
0, 7312	0,011	
0, 7286	0,012	
0, 7261	0,013	
0, 7235	0,014	
0, 7210	0,015	
0, 7185	0,016	
0, 7160	0,017	
0, 7136	0,018	
0, 7111	0,019	
0, 7086	0,020	

Si può anche con metodo più breve far uso dell' osservazione, che il vapore dell' acqua bollente è prossimamente di tanti gradi centigradi più caldo o più freddo de' 100 segnati mediante l'ebullizione sotto la pressione di 760 millimetri, quante volte 27 millimetri (formanti circa un pollice di Parigi) crescono o mancano dai 760 nella indicazione del barometro; semprechè però questo numero di volte non ecceda le tre o le quattro.

Ed anche nella determinazione di questo punto corrispondente all' ebullizione dell' acqua, è necessario che si trovi a tale temperatura non solo il bulbo del ter-

mometro, ma anche una buona parte del tubo, cioè fin dove arriva il mercurio, lasciando solamente che si possa vedere il luogo dove s'ha a notare il grado 100. Può servire a quest'uopo la macchinetta rappresentata dalla fig. 15. Dopo poi segnato il termine dell'ebullizione e divisa ed applicata la scala, è d'uopo lasciar riposare lo strumento per qualche mese, perchè in esso cessi o diminuisca l'irregolarità acquistata nell'averlo esposto alla temperatura dell'acqua bollente (§ 604).

Costrutto lo strumento colle suddette avvertenze, d'alcuna delle quali si farà conoscere la ragione nel seguito, si ha in esso un eccellente e comodo indicatore delle temperature. Solamente si dee avvertire, allorquando si vuol farne uso in osservazioni delicate, che esso non sia stato esposto da poco tempo a temperature elevate, p. e. a quella dell'acqua bollente; e per sicurezza giova averne verificato lo *zero* da poco tempo.

646. Quando si posseggа un buon termometro stato costruito colle indicate avvertenze, se ne potranno fare col paragone di esso infiniti altri con molto maggiore facilità, risparmiando cioè la scrupolosa ricerca de' tubi calibri, e la penosa divisione in parti d'uguale capacità per quelli che non sono tali. Egli basterà in fatti, dopo avere segnati i punti dello *zero* ne' termometri che si vogliono formare, di collocarne le bolle con quasi tutta quella parte de' rispettivi tubi la quale è occupata dal mercurio, entro ad un bagno liquido che sia tenuto agitato e che venga successivamente portato a $+5^{\circ}$, a $+10^{\circ}$, a $+15^{\circ}$, ec. mediante l'indicazione del *termometro campione;* quindi segnare cotali gradi sui tubi e sulle scale de' termometri che si vogliono graduare, e dividere gli intervalli in parti uguali, il che per la piccolezza di questi intervalli potrà praticarsi senza sensibile errore, malgrado che la cavità de' tubi vada crescendo o diminuendo dall'una estremità all'al-

tra. Il termine dell' ebullizione ossia de' 100° si segna per l'ultimo.

Questo metodo di paragone poi è il solo che si possa adoperare per que' termometri i cui gradi non debbono arrivare fino all'acqua bollente, ma solo fino a +40°, o a +50°; e di questi se n'ha molte volte bisogno, p. e. quando i gradi si vogliono molto lunghi; ed hanno essi il vantaggio di conservarsi più esatti degli altri, quando sieno stati costrutti colle debite cautele, non potendo mai venire esposti a temperature che li possano alterare.

La divisione in cento parti uguali dell'intervallo fra la fusione del ghiaccio e l'ebullizione dell'acqua fu primieramente imaginata dallo Svedese Celsius nel 1742; ora però è conosciuta dappertutto, ed anzi in Francia, dopo l'introduzione del sistema decimale de' pesi e delle misure, i Fisici la adottano a preferenza di ogni altro modo di graduazione.

647. Oltre a un cotal metodo per graduare i termometri, ve n'hanno altri due usitatissimi, quello cioè del termometro detto *a scala di Réaumur*, e quello del termometro *a scala di Fahrenheit*.

Termometro a scala di Réaumur. Fu Deluc quello che veramente adattò ai termometri a mercurio la scala che comunemente si chiama di Réaumur, ond'è che questa maniera di graduazione si dovrebbe piuttosto chiamare *di Deluc*. Una tal maniera non differisce dalla precedente se non in ciò che il punto dell'ebullizione dell'acqua vi è segnato col numero 80, e che l'intervallo fra questo punto e quello del gelo, che è pur segnato 0°, è diviso in 80 parti uguali. Suole inoltre esservi questa piccola diversità che nel segnare il grado 80° si suole far uso della ebullizione dell'acqua sotto la pressione di 28 pollici di mercurio, i quali sono qualche cosa meno di 76 centimetri; onde è che a rigore 80 gradi della scala di Réaumur o piuttosto di Deluc corrispondono a $99^{0}\,12/_{13}$ di quelli a scala

centigrada, e viceversa 100 gradi della scala centigrada corrispondono a 80 1/16 di quella di Réaumur. Usasi questa scala in Francia, e più ancora in Italia specialmente negli usi della vita e dove non si tratta di lavori scientifici.

Sonovi però diversi artefici i quali adottano di segnare il grado 80° corrispondentemente ad una pressione atmosferica diversa da quella di 28 pollici di mercurio; in questo caso i termometri non sono in esatta relazione con quello che abbiamo descritto; ma è facile trovarne la differenza quando si conosca la pressione a cui sono stati graduati, sapendosi che presso ai 28 pollici di mercurio ogni pollice di cui varii la pressione produce una differenza di 1/5 di grado a scala di Réaumur nella temperatura dell'ebullizione. Deluc, p. e., ed anche Saussure, notavano il grado 80 all'ebullizione dell'acqua sotto una pressione di 27 pollici di mercurio (1); perciò gli 80 gradi de' loro termometri corrispondevano a gradi 79 1/5 di quelli graduati colla pressione di 28 pollici, ed anche a qualche cosa meno se il mercurio del barometro era a temperatura alquanto più elevata di quella del ghiaccio.

648. *Termometro a scala di Fahrenheit.* Questa scala, che è quella che si suole usare comunemente in Inghilterra, ha di particolare, che il punto del gelo è segnato 32, e quello dell'ebullizione dell'acqua 212, essendo l'intervallo diviso in 180 parti. Volendo stare alle minutezze, è altresì da notare che molte volte in questo termometro il grado 212° corrisponde all'ebullizione dell'acqua sotto una pressione di 30 pollici inglesi di mercurio equivalenti a millimetri 762, e però corrisponde al grado 100°,07 del termometro centigrado (2). Però i Commissarii incaricati nel 1777 dalla Reale Società di Londra per l'esame del miglior

(1) *Voyages dans les Alpes*, § 36 e 2011; *Hygrométrie*, § 90.
(2) Biot, *Traité de Physique*, t. I, p. 275.

metodo di determinare i punti fissi de' termometri (*), consigliano di scegliere, allorchè si faccia uso del vapore dell' acqua bollente, la pressione di pollici inglesi 29 $^{8}/_{10}$ (corrispondenti a 27^{p}. 11^{l}, 54 di Parigi, o a 0^{m},7569); in questo caso il 212° di Fahrenheit corrisponde a 99 $^{8}/_{9}$ dal termometro centigrado. Queste differenze però sono piccolezze, delle quali sono generalmente maggiori le inesattezze di cui sono affetti i termometri anche meglio costrutti. Una tale maniera di graduazione ha la comodità che le diverse temperature a cui va soggetta l' atmosfera nei climi temperati pel variare delle stagioni, sono quasi sempre espresse da gradi positivi.

649. Si vede da quanto abbiamo detto che un intervallo di quattro gradi della scala di Réaumur o di Deluc equivale a uno di cinque gradi centigradi, e a uno di nove di Fahrenheit.

Per indicare di quale delle tre scale si sia fatto uso in qualche osservazione, si scrive una delle iniziali R, C, F in seguito al numero de' gradi; per esempio 48°F. significa 48 gradi della scala di Fahrenheit.

Torneremo a rammemorare che le indicazioni di questi termometri a mercurio per tutte le temperature dalla ebullizione dell' acqua fin quasi a quella della congelazione del mercurio sono in una lodevole relazione con quelle di un esatto termometro ad aria gradato secondo le medesime norme. Però al di sopra del punto dell' acqua bollente vi ha qualche differenza, come si è indicato al § 639.

650. *Termometri ad alcool.* In luogo del mercurio può usarsi nella costruzione de' termometri anche lo spirito di vino, ed anzi l' uso n' è più antico, essendo stati appunto a spirito di vino i termometri adoperati dagli Accademici di Firenze. Siccome questo liquido a pari numero di gradi di riscaldamento, segnati da un

(*) *Phil. Trans.* t. LXVII, Part. II.

rmometro ad aria o a mercurio, è più dilatabile lle temperature elevate che nelle basse, così allor- ando i tubi non sono calibri si suol soffiare la bolla l quella parte ove la cavità del tubo è più sottile, n che si rende minore l'irregolarità delle divisioni. liquido perchè sia più visibile si colora comunemente rosso. Il riempimento della bolla si eseguisce nel odo medesimo come pe' termometri a mercurio; e nel odo medesimo di questi si determina il punto del gelo, quale si segna 0° ovvero 32° secondo la scala che vuole adottare. Per segnare gli altri gradi si inco- inciano a determinare due o tre altri punti della cala col paragone di un termometro a mercurio già iligentemente graduato, p. e. il +10°C., il +20°, il +30°; e si dividono gli intervalli o in parti egolarmente crescenti l'una dopo l'altra, o anche, se uesti intervalli sieno piccoli, in parti fra loro uguali.

In questa specie di termometri essendo molto mi- ore il difetto che nasce dall'alterarsi col tempo la apacità della bolla, si possono tralasciare senza grave nconveniente le precauzioni che abbiamo suggerite a tale riguardo per la costruzione e per l'uso de' ter- mometri a mercurio.

È invece necessaria l'avvertenza di non far termi- nare con cavità capillare o sottilissima la parte de' tubi più lontana dalla bolla; perocchè qui si potrebbe fermare una piccola quantità di alcool depostovi per distillazione, invisibile all' occhio perchè trasparente, e assai difficile a snidarsi. Si termina in vece il tubo da questa parte in un piccolo gonfietto; e in questo e nella parte vota del tubo si lascia una certa quan- tità di aria.

651. *Paragone fra i termometri a mercurio e quelli ad alcool.*

Quando si tratti di costruire di pianta un nuovo termometro, per la cui graduazione non si possa trarre partito dal paragone con altri esatti termometri, non

possedendosene per avventura nessuno in cui si possa aver bastevole fiducia, o dovendo anzi il termometro da costruirsi servire di campione per la fabbricazione di altri di tali strumenti, ella è cosa indubitata che in questo caso si dee dare la preferenza al mercurio, costruendo lo strumento secondo le norme che abbiamo additate a' § 643, 644 e 645. Questa verità fu già riconosciuta da molto tempo specialmente dal celebre Deluc, il quale da alcune sue sperienze argomentò che il mercurio sia quello fra tutti i liquidi nel quale la dilatazione va maggiormente d'accordo colla quantità di calorico ricevuta, e credette perciò che le dilatazioni di questo liquido sieno più atte a indicare in un modo regolare le temperature che non le dilatazioni di qualsivoglia altra sostanza: egli sospettò nulladimeno che anche questo liquido partecipi alcun poco del difetto di tutti gli altri, cioè che alle alte temperature egli sia più dilatabile, ovvero alle basse il sia meno di quello che abbisognerebbe per la regolarissima misura delle temperature. E tutte queste idee vennero negli ultimi tempi confermate appuntino. Essendosi adottato il principio, che la misura più esatta delle temperature sia quella somministrata dall'aumento della forza espansiva dei gas chiusi in capacità invariabili, ossia, ciò che è lo stesso, dall'aumento del loro volume sotto una pressione costante (§ 431), si trovò che a tutto rigore la dilatazione del mercurio va facendosi progressivamente più rapida a proporzione che la temperatura si eleva, ma che però l'aumento della sua dilatabilità, per tutto il tratto che esso rimane liquido, è assai piccolo, di maniera che da —36°C. a +100° i termometri a mercurio (ne' quali altresì la irregolare dilatazione del liquido è alcun poco corretta dalla irregolare dilatazione del recipiente) vanno sufficientemente d'accordo con quelli ad aria. Che poi la dilatabilità degli altri liquidi e specialmente dell'alcool vada crescendo, collo elevarsi delle temperature, se-

ndo una legge più rapida che non fa la dilatabilità
mercurio, è cosa che evidentemente si scorge dalla
ola de' risultamenti di Deluc esposta al § 619.
652. Quando però si abbia già un esatto termome-
a mercurio col cui paragone si possano eziandio
truire degli esatti termometri ad alcool, in tale
o si può far uso con tutta sicurezza anche di que-
ultimi, ed anzi in varii usi possono questi essere
feriti a quelli a mercurio per diverse ragioni che
sseremo ad esporre.
Le prerogative che può avere un termometro ad
ool in confronto di uno a mercurio sono:
1.° Di servire anche per le temperature inferiori
a congelazione del mercurio.
2.° Di avere più visibili le indicazioni in grazia del
lor rosso che si può dare alla colonna liquida.
3.° Di avere, a pari diametro della bolla e del tubo,
divisioni della scala più grandi e più visibili che
n un termometro a mercurio.
4.° D'essere men facile a rompersi, a cagione del
inor peso del liquido contenuto.
5.° Di avere più piccolo il difetto della alterazione
lla capacità della bolla dopo l'esposizione alle ele-
te temperature.
6.° Di essere meno soggetto a variare nelle indica-
oni pel cangiamento della pressione atmosferica.
I termometri a mercurio, quando abbiano chiusa la
tremità superiore del tubo come sogliono essere co-
unemente, essendo posti nel voto pneumatico se-
nano qualche cosa meno che trovandosi in mezzo
l'aria libera, ancorchè la temperatura non sia punto
iversa; e la differenza, la quale è tanto più grande
uanto più è sottile il vetro della bolla a confronto
el diametro di essa, si è trovata poter arrivare ad
n intero grado centigrado: e ciò per lo allargarsi
he fa alcun poco la capacità della bolla medesima
l cessare della pressione atmosferica che la pre-

meva esternamente e la restringeva in minore spa
(§ 604) (1). Si riconosce questo fatto in più manie
Una può essere quella di porre insieme nel voto pn
matico due termometri a mercurio che nell'aria, sot
l'ordinaria pressione atmosferica di 28 pollici di me
curio, vadano esattamente d'accordo, ma l'uno d
quali abbia il tubo ermeticamente chiuso e l'altro l
abbia aperto. Si trova che dopo essersi ridotti en
trambi stazionarii, quello col tubo chiuso si tiene pi
basso dell'altro anche di 1°C., e si mantiene ad u
costante differenza con quest'ultimo in tutti i cang
menti di temperatura che avvengono entro la campa
ove i due strumenti si trovano. Un'altra maniera può e
sere quella di rompere il tubo, prima chiuso, di uno d
questi termometri a mercurio; si vede che pel cessa
dell'effetto della pressione esterna la quale viene t
essere allora equilibrata all'interno da un'altra ugua
operata dall'aria entrata, la colonna del mercurio d
scende di parecchi decimi di grado centigrado, ed anch
di un grado intero. E questo effetto della pressione cr
sce col crescere della pressione medesima quasi nell
esatta ragione diretta semplice di essa; un termometro
che per la pressione di una sola atmosfera mostrò un d
fetto di 1°C., per quella di due atmosfere ne mostrò un
di circa 2°, e per quella di tre uno di 2°,7. (2). In
certe bolle però o molte grosse di pareti o molte picco
di diametro, sebbene anch'esse a mercurio, un siffatto
effetto è piccolissimo: una bolla del diametro di du
linee soltanto e di pareti assai grosse nol mostrò, pe

(1) Augusto De La Rive e F. Marcet nella *Bibl. Univ.* di
et Arts, t. XXII, p. 265. Questo fatto era stato avvertito in
Italia già da più di un mezzo secolo fa (vedine le citazioni
nel *Giornale di Fisica* di Pavia, anno 1823, p. 282). Hanno per
il merito i due citati Fisici Ginevrini d'aver separato questo
effetto del cessar della pressione da quello del raffreddamento
cagionato dalla rarefazione dell'aria, e d'avere così ridotto la
cosa a' suoi veri termini.

(2) *Biblioth. Univ. Sciences et Arts*, t. XXII, p. 271.

atmosfera, che di 0°,1 C. (*). Egli è poi evidente questa variazione può aver luogo, quantunque meno sibilmente, anche per que' cangiamenti di pressione ui un termometro a mercurio a tubo chiuso può re sottoposto nel venire portato a varie altezze so- il livello del mare; sulla cima del Monte Bianco, e., potrebbe aversi un errore di $^3/_{10}$ o di $^4/_{10}$ di do centigrado.

Ora questo difetto ne' termometri ad alcool è affatto scurabile: perocchè ammettendo che quella qualità di ool che si suol usare pei termometri abbia alle tem- ature ordinarie l'apparente dilatazione nel vetro que volte maggiore di quella che mostra il mercurio, n potrebbe aversi nelle più grandi variazioni di pres- ne atmosferica che possono naturalmente avvenire la superficie terrestre (da 29 pollici cioè a pol- i 14 $^1/_2$) se non che una differenza di $^1/_{10}$ di grado ntigrado.

Similmente se s'immerge un termometro ad alcool molta profondità nel mercurio o in altro liquido nso, la pressione di questo non ne può far variare nsibilmente le indicazioni, come ella può fare in vece un termometro a mercurio.

7.° Il termometro ad alcool per ultimo è pochissimo ggetto a variare d'indicazione per la diversa incli- zione del tubo.

I termometri a mercurio collocati orizzontalmente gnano qualche cosa più che collocati verticalmente; rocchè nella posizione orizzontale la bolla sente aggiormente l'effetto della pressione atmosferica che restringe, mancando la pressione sulle pareti in- rne che si oppone qualche poco a questo effetto; e differenza può in una bolla sferica, che è la men ggetta a siffatto accidente, oltrepassare facilmente decimo di grado centigrado, anche allorquando

(*) *Bibl. Univ. Sc. et Arts*, t. XXII, p. 270.

la colonna liquida contenuta nel tubo non sia mol lunga, p. e. non maggiore di 3 ovvero 4 pollici (s la bolla è schiacciata, può arrivare siffatta differen anche a qualche grado, come mi mostrò il can. Be lani in certi termometri ch' egli possiede di quest forma) (*).

È affatto insensibile in vece un tale difetto ne' ter mometri ad alcool, sì per essere più debole la pres sione del liquido sulle interne pareti delle bolle quand lo strumento si tien verticale, e sì per essere mea sensibili in questi termometri gli effetti della variazion della capacità delle bolle stesse operata da' cangiamenti della pressione. Fra l'una e l'altra cagione, il difetto di cui parliamo ne' termometri ad alcool è per lo men 80 volte più piccolo che in quelli a mercurio.

653. Hanno in vece i termometri ad alcool, in con fronto di quelli a mercurio, i seguenti svantaggi:

1.° Non servono per le temperature superiori al l'acqua bollente: fra gli altri inconvenienti infatti po trebbe avvenire che a queste temperature la forz espansiva del vapore alcoolico facesse scoppiare la bolla.

2.° Quando lo strumento sia stato privato interamente d' aria, se la estremità superiore del tubo rimane esposta per molto tempo a temperature più fredde che non la parte rimanente dello stromento, può in quella parte condensarsi un po' di vapore alcoolico esalato dalla superficie della colonna colorata, e li fermarsi in un velo trasparente, facendo così diminuire le indicazioni.

3.° Un termometro ad alcool immerso fino ad un determinata profondità entro ad un bagno liquido ch

(*) L' effetto dell' interna pressione del mercurio in bol sferiche che abbiano pareti mediocremente grosse, per un colonna liquida alta 28 pollici viene da Bellani riputata no maggiore di mezzo grado di Réaumur. *Giornale di Fisica Pavia*, anno 1809, p. 503.

bbia sempre la medesima temperatura, potrà nelle iverse stagioni dare delle indicazioni leggiermente dif- erenti, in grazia della varia densità che potrà avere l vapore alcoolico esistente nella parte vota del tubo. e in fatti la temperatura dell' ambiente verrà ad levarsi, s' aumenterà la quantità di questo vapore lcoolico a spese della massa d' alcool che rimane iquida, e inoltre, a cagione dell' aumentata forza spansiva di esso vapore, crescerà la pressione ope- rata sulle interne pareti della bolla in opposizione alla pressione atmosferica esercitata al di fuori, tal- chè s' aumenterà leggiermente la capacità della bolla medesima; ora tanto l' una di queste cause vale a dire il passaggio di una parte del liquido allo stato di vapore, quanto l' altra cioè l' accresciuta capacità della bolla, faranno abbassare alcun poco la colonna liquida contenuta nel tubo (*). Viceversa se la tem- peratura dell' ambiente verrà ad abbassarsi, rimanendo costante quella del bagno, la colonna liquida per le ragioni contrarie si innalzerà. In conseguenza di ciò vi potrebbero essere delle differenze fra le indicazioni che dà lo strumento allorquando viene graduato, e quelle ch' esso presenta allorchè viene adoperato nello esplorare la temperatura di un bagno liquido. E un inconveniente di simil natura può aver luogo anche allorquando lo strumento dee indicare la temperatura, p. e., di una camera; perocchè col dimorare in que- sta per un tempo sufficiente, non solo la bolla, ma anche tutto il tubo prende la temperatura di essa; dovechè all' atto della graduazione, nell' istante che la bolla possedeva una siffatta temperatura, poteva la parte vota del tubo trovarsi a una temperatura di- versa e contenere una diversa quantità di vapore al- coolico. Sono però leggerissimi questi inconvenienti e le più volte trascurabili.

(*) Bellani, nel *Giornale di Fisica di Pavia*, an. 1822, p. 276.

Alla temperatura dell' ordinaria ebullizione dell' alcool, che ha luogo a $+80°$ C. circa, e a cui la forza espansiva del vapore alcoolico uguaglia la ordinaria pressione dell' atmosfera, esso vapore in uno spazio di lui saturo ha una densità che sta a quella dell' aria dotata della stessa temperatura e premuta similmente dall' ordinaria pressione atmosferica come 1,6133 a 1 (Vedi la tavola delle gravità specifiche posta in fine del primo volume). La densità poi di quest' aria sta a quella dell' acqua a $0°$ come 1 a $(1+80.\ 0{,}00375)\times 770$ ossia come 1 a 1001, di maniera che la densità del vapore alcoolico entro uno spazio saturo e alla temperatura dell' ebullizione dell' alcool sta alla densità dell' acqua a $0°$ come 1,6133 a 1001, ossia come $^1/_{620}$ a 1. Supponendo ora che l' alcool contenuto in un termometro abbia a $0°$ la densità 0,82, e a $+80°$ C. la densità 0,75, starà la densità del vapore alcoolico nelle menzionate circostanze alla densità dell' alcool a $0°$ come $^1/_{620}$ a 0,82, ossia come 1 a 508, e la stessa densità del vapore alcoolico alla densità dell' alcool bollente come 1 a 465. Se pertanto, trovandosi tutto lo strumento alla temperatura dell' alcool bollente, vi sarà al di sopra della colonna *liquida* uno spazio vacuo corrispondente a 46 gradi centigradi, *uguale* cioè a tanta parte della cavità del tubo quanta corrisponde a un intervallo di 46° C. misurato sulla scala dello strumento, in questo caso esisterà in cotal vacuo una quantità di vapore alcoolico che condensata in liquido occuperebbe entro al tubo un intervallo di $^1/_{10}$ di grado centigrado. La forza espansiva poi di questo vapore potrà tenere la colonna liquida per un altro ventesimo di grado centigrado o anche per altri due o per altri tre ventesimi più bassa del punto a cui essa colonna starebbe senza una cotal forza; di maniera che nel totale l'esistenza di questo vapore potrà far rimanere la colonna liquida per $^1/_6$, per $^1/_5$, ed anche per $^1/_4$ di grado centigrado al di sotto del punto a cui essa colonna si terrebbe mancando un tal vapore. Tutto questo poi alla temperatura dell' alcool bollente.

Abbassandosi la temperatura diminuisce rapidamente tanto la densità del vapore alcoolico quanto la sua forza espansiva. A $+60°$ C. questa densità è già minore della metà di quello ch' ella è a $+80°$, cioè minore di $^1/_{1016}$ della den-

sità dell' alcool a 0°, e di $^1/_{969}$ di quella dell' alcool a + 60°; di maniera che avendovi nel tubo uno spazio vacuo corrispondente a 46 gradi centigradi della scala, non si troverà in questo spazio nemmeno tanto vapore da poter occupare, ridotto in liquido, un intervallo di $^1/_{20}$ di grado centigrado; la forza espansiva poi produce anch' essa meno della metà dell' effetto del caso precedente, produce cioè un effetto di due o tre quarantesimi al più di grado centigrado; per conseguenza il maggior abbassamento della colonna liquida che si potrà avere nel presente supposto sarà di $^1/_8$ di grado centigrado.

Alla temperatura di + 40° C., che è una delle più elevate che l' aria può acquistare sulla superficie terrestre, la densità del vapore alcoolico non arriva ad essere $^1/_{2000}$ di quella dell' alcool liquido della temperatura + 40° C.; e la pressione di questo vapore non giunge a un quarto di atmosfera; essendovi quindi un vacuo sopra la colonna liquida corrispondente come sopra a un intervallo di 46 gradi centigradi, non arriverà l' abbassamento che a $^1/_{80}$ ovvero al più a $^1/_{16}$ di grado.

Essendo adunque sì piccoli gli interi effetti prodotti dalla presenza del vapore alcoolico, ella è chiara cosa che saranno affatto trascurabili quelli che derivano semplicemente dall' aumentarsi e dal diminuirsi della quantità di questo vapore, e che sono soltanto una parte degli interi effetti sovrammenzionati.

A diminuire poi questi effetti e talora a distruggerli affatto e a inverterli si aggiunge la circostanza, che immergendosi un termometro ad alcool in un bagno liquido di temperatura costante, una parte del liquido contenuto nel tubo si lascia sempre avanzar fuori del bagno per poter leggere le indicazioni dello strumento: ora questa parte del liquido termometrico rimanendo esposta alle variazioni della temperatura dell' ambiente, s' accresce di volume quando l' ambiente si riscalda e quando perciò il vapore alcoolico tende ad abbassare la colonna liquida, e diminuisce di volume nel caso contrario.

4.° Tanto nell' usare i termometri ad alcool, quanto nell' adoperare quelli a mercurio, allorquando si ha

ad esplorare la temperatura di un bagno liquido ove non si possa immergere che poca parte dello strumento, una quantità notabile del liquido contenuto nel tubo non soffre sensibile dilatazione, e perciò nel leggere l' indicazione come ella sta si commette *un errore*. Or questo errore è molto più grave ne' termometri ad alcool che in quelli a mercurio. Se, p. e., si scalda la bolla di un termometro ad alcool da 0° a +50°C., rimanendo fuori del bagno tutta la parte di tubo che è sopra al segno dello zero, si ha un errore in meno di circa 2°,5 C.; in un termometro a mercurio in vece non si avrebbe che un errore di circa 0°,4 C.

5.° Nel far conoscere la temperatura di un bagno liquido i termometri ad alcool sono a parità di bolle molto più lenti di quelli a mercurio. E lo stesso avviene quando si tratti di esplorare la temperatura dell' aria, benchè in un minore rapporto, non montando la differenza che circa a un quarto del tempo totale (vedi a' § 501 e 557).

6.° Per ultimo, attesa l'irregolarità della *dilatazione* dell'alcool, nel formare le scale di questi termometri si esige maggior diligenza che per quelli a mercurio. Quindi è che se sono costruiti da mani imperite, assai facilmente le loro indicazioni riescono inesatte.

Per tutte queste ragioni noi preferiremo i termometri ad alcool (costruiti da persone intelligenti, come pur debbono essere quelli a mercurio) negli usi comuni della vita, e. g. per le stufe, pei bachi da seta, per riconoscere le variazioni della temperatura in una camera; tanto più ch'essi costano meno. Useremo in vece di quelli a mercurio in molte sperienze fisiche, allorquando cioè ben ponderate le proprietà dell'una specie e dell' altra, vedremo il loro uso più vantaggioso (*).

(*) Intorno a questi strumenti si possono leggere molte importanti osservazioni in diverse memorie del can. Bellani;

Di alcune avvertenze necessarie nell' uso de' termometri.

654. L' avere un buon termometro non basta perchè siano buone le osservazioni; conviene altresì saperlo bene usare; il che esige diverse avvertenze che noi ci sforzeremo di far brevemente conoscere.

È d' uopo in generale aver presente che quello che viene direttamente indicato dai comuni termometri a bulbo, si è la dilatazione apparente mostrata dal liquido contenuto in questi strumenti all' istante che essi vengono osservati; la quale dilatazione apparente dipende ad un tempo e dalla temperatura di questo liquido e da quella dell' inviluppo che il circonda. Di qui è che per potere col loro mezzo conoscere la temperatura de' corpi o liquidi o solidi od aeriformi, conviene far in maniera che tali strumenti si mettano esattamente all' equilibrio di temperatura con questi corpi, e che prenda una tale temperatura tanto l'intera massa fluida contenuta nella bolla e nel tubo, quanto tutta la parte d' inviluppo che sta d'intorno a cotal massa fluida. Scaturiscono da ciò parecchie delle cautele e delle pratiche che sono necessarie nell' uso di questi strumenti e che noi passiamo ad esporre.

Avvertenze per la determinazione delle temperature de' liquidi. Quando si ha ad esplorare la temperatura di un liquido per mezzo di un termometro o ad alcool

fra queste noi citeremo 1°. quella già da noi citata e intitolata *Dell' incertezza nel determinare il punto del ghiaccio sui termometri derivante da una nuova imperfezione scoperta ne' medesimi*, inserita nel *Giornale di Fisica* di Pavia l' anno 1808 a p. 429 e seg.; 2° quella inserita collo stesso titolo nel medesimo *Giornale* negli anni 1822 e 1823; 3°. la Lettera al conte Dandolo *Sull' uso de' varii strumenti necessarii al governo de' bachi*, stampata in Milano nel 1818 presso il Sonzogno, e inserita dal Dandolo nelle sue opere sui bachi da seta.

o a mercurio, fa d'uopo prima di tutto immergervi il bulbo con tutta quella parte di tubo che è occupata dal liquido termometrico, non lasciandone sporgere che quanto basta per poter leggere le indicazioni; o almeno, quando ciò non si possa, si dee tener conto della lunghezza della colonna liquida che avanza fuori onde poterne fare la dovuta correzione; e in questo secondo caso sono da preferirsi i termometri a mercurio, ne' quali il difetto è minore e insieme la correzione è più sicura. A quest'ultimo modo, di far cioè la correzione, operarono, p. e., Arago e Dulong nelle sperienze ch'essi fecero sulla forza espansiva del vapore acqueo (*).

Come debba eseguirsi una siffatta correzione, ai Fisici è facilissimo il vederlo; e siccome ad essi soli può occorrerne il bisogno, così basterebbe l'averne fatto cenno. Ecco nulladimeno, per comodo degli studiosi, in qual modo si può procedere.

Trovisi un termometro a mercurio immerso in un liquido colla bolla e con una parte del tubo, e segni t gradi centigradi; coll'altra parte del tubo sopravanzi fuori, e rimanga esposto alla temperatura dell'aria per una parte della colonna liquida corrispondente a n gradi della scala che supponiamo centigrada; e questa temperatura dell'aria, la quale noi supporremo più fredda di quella del bagno liquido, sia di t' gradi. Si desidera la vera temperatura T del bagno liquido medesimo.

La questione si risolve nel sapere qual sarebbe la dilatazione apparente del mercurio contenuto nella parte di tubo che sopravanza dal bagno nel caso che anche questa parte venisse esposta alla temperatura T; giacchè questa dilatazione apparente, espressa in gradi della scala, è quella che dee aggiungersi ai gradi osservati t. Ora dalle sperienze di Dulong e Petit si trae che per ogni grado centigrado di riscaldamento la apparente dilatazione del mercurio nel vetro è di circa $1/648$ del volume apparente a 0°, o anche (il che

(*) Vedi gli *Annales de Chimie et de Physique*, anno 1830, t. XLIII, p. 97.

non apporta sensibile errore) del volume apparente a qualsivoglia delle temperature ordinarie dell'atmosfera. Conviene adunque prendere $^1/_{648o}$ del numero de' gradi che vengono occupati lungo la scala dalla colonna di mercurio che sporge dal bagno, e replicare questa frazione tante volte quant'è il numero de' gradi de' quali dovrebbe venire scaldata questa colonna medesima per essere recata anch'essa alla temperatura del bagno. Il risultamento che si ottiene, il quale consiste nel numero de' gradi occupati da cotale colonna liquida non esposta al riscaldamento, moltiplicato pel numero de' gradi di cui questa colonna dovrebbe essere scaldata, e diviso il prodotto per 648o, è la cercata dilatazione apparente da aggiungersi ai gradi osservati per avere i gradi reali.

Si avrà adunque la cercata dilatazione apparente misurata da gradi

$$\frac{n\,(T-t')}{648o};$$

perciò sarà

$$T-t=\frac{n\,(T-t')}{648o}$$

da cui

$$T=t+\frac{n\,(t-t')}{648o-n}$$

Se la temperatura del liquido fosse molto elevata, se fosse, p. e., di +200° ovvero di +300° C., in luogo di $^1/_{648o}$ si dovrebbe prendere una frazione maggiore, p. e. $^1/_{637,8}$, ovvero $^1/_{631,8}$, o altra a giudicio dello sperimentatore, secondo i casi.

Conviene in secondo luogo lasciare immerso il termometro nel liquido per un tempo sufficiente, aspettando che la colonna liquida contenuta nel tubo siasi ridotta stazionaria; sul che si può pigliar cognizione da prove preliminari, col determinare approssimativamente il tempo che esso termometro impiega nel passare, p. e., da una differenza di 10° C. col liquido

ambiente, ad una che sia di soli 5°, cioè della metà. In tal caso, essendo questo il tempo che, con poco divario, sempre esso impiega a recarsi alla metà differenza colla temperatura di esso liquido ambiente, se noi vedremo che in una tale durata più non si muove sensibilmente, saremo sicuri che la sua indicazione è pochissimo inesatta.

Avendo posto un termometro a mercurio con bolla sferica del diametro di 13 millimetri entro una massa d'acqua della temperatura di circa 10° C., ed avendo osservati i tempi de' raffreddamenti indicati da questo strumento in quattro successive prove, ne ottenni i risultamenti che seguono:

Eccessi della temperatura indicata dal termometro su quella dell'acqua.	Tempi dal principio del raffreddamento in minuti primi.	Medie di questi tempi.	Differenze.
40° C. . . .	0,′0 . 0,′0 . 0,′0 . 0,′0	0,′00	
20	0,1 . 0,1 . 0,1 . 0,07	0,09	0,′09
10	0,2 . 0,2 . 0,2 . 0,17	0,19	0,10
5	0,3 . 0,3 . 0,3 . 0,27	0,29	0,10
2,5 . . .	0,4 . 0,4 . 0,45 . 0,4	0,41	0,12
1,25 . . .	0,55 . . . . 0,6 . 0,55	0,57	0,16

Io stimo pertanto che questo termometro in un intero minuto primo si sarebbe portato da una differenza di 40° C. fra la sua indicazione e la temperatura dell'acqua, ad una differenza di 0,1 di grado centigrado, e in un minuto e mezzo ad una differenza di $^1/_{80}$ di grado solamente.

Quando non si aspetti questo tempo sufficiente, si commette necessariamente errore, e ciò per due ragioni: 1.° perchè il liquido termometrico non ha ancor

presa la temperatura del liquido ambiente; 2.° perchè l'inviluppo di vetro avendo una temperatura intermedia fra quelle de' due liquidi adjacenti aumenta ancor più nelle apparenze la diversità. Se a cagion d'esempio si pone un termometro a mercurio entro un liquido di lui più caldo, in sulle prime il mercurio è più freddo del liquido ambiente, e per questa ragione ha un minor volume di quello che la temperatura del liquido ambiente porterebbe; inoltre il vetro della bolla è più caldo del mercurio contenuto, e quindi di una capacità più ampia di quella corrispondente alla temperatura del mercurio medesimo, e perciò esso mercurio occupa nel tubo uno spazio minore anche di quello che sarebbe portato dalla propria temperatura (veggasi il § 508). È notissimo l'esperimento del porre in un liquido caldo un vaso di vetro di collo sottilissimo e pieno di acqua fredda, e del veder questa in sulle prime abbassarsi nel collo in luogo di elevarsi.

È d'uopo altresì rammentarsi che la presenza del termometro altera la temperatura del liquido, comunicandogli o togliendogli una parte di calorico in proporzione della propria capacità *totale*. Il che in alcuni casi è molto necessario di avere in mente, p. e. nel determinare la temperatura delle mescolanze frigorifiche, affine di poter fare le debite correzioni.

655. *Avvertenze per la misura delle temperature de' corpi solidi.* Se il corpo di cui vuolsi conoscere la temperatura è un solido, qual sarebbe una barra metallica, vi si sogliono praticare de' buchi in que' punti ove si vuol fare l'osservazione, e in questi riempiuti di mercurio o d'olio o d'altro liquido s'immerge la bolla del termometro, la quale con tal mezzo riceve più prontamente e più perfettamente la temperatura da misurarsi. Così fece Biot nelle sperienze citate al § 570, e così anche Despretz in quelle citate al § 478.

656. *Avvertenze per la determinazione delle temperature nei fluidi aeriformi e in ispecie nell' aria.*

Quando occorre il bisogno di conoscere la temperatura di una camera o in genere di un luogo chiuso ove le pareti sieno tutto all'intorno ad una temperatura uniforme, in tale caso si ha il vantaggio che l'aria contenuta si trova alla medesima temperatura delle pareti, talchè tanto il contatto dell' aria quanto l'irradiazione concorrono a portare il termometro ad un medesimo grado; non si ha quindi che a tener riparata la bolla dello strumento dai raggi di luce troppo vivi ancorchè sieno di que' riverberati, come pure dalle troppo abbondanti sorgenti di calorico, p. e. dalla vicinanza dell'osservatore, e a lasciare lo strumento stesso a se medesimo per un tempo sufficiente; dopo di che si avrà esattamente la temperatura dell' aria circonvicina che potremo anche chiamare temperatura della camera o del luogo chiuso. È però d'uopo che nella camera non vi sia nè cammino acceso nè stufa; altrimenti si avranno delle notabili differenze di temperatura tanto ne' diversi strati dell' aria circostante quanto alle diverse distanze dalle sorgenti calorifiche, e vi saranno le medesime cause d' incertezza come ne' luoghi aperti de' quali ragioneremo fra poco.

Una circostanza però a cui molte volte conviene aver riguardo, si è quella del tempo necessario ad un termometro per poter prendere una siffatta temperatura della camera quando esso prima fosse ad una temperatura diversa. In questi casi, essendo sempre vantaggiosa la prontezza dello strumento, gioverà prima di tutto che la bolla sia isolata o non annessa alla tavoletta, e ch' ella sia piccola. Posta questa condizione, la seguente tavola può servire a far conoscere approssimatamente i tempi che vengono impiegati da un termometro a mercurio o ad alcool e a bolla sferica e nuda per passare dall'una all'altra delle sottonotate differenze colla temperatura dell'aria ambiente. Si sup-

one che quest'aria sia perfettamente tranquilla quale rebbe dentro ad un vaso chiuso, ch'ella sia sotto la ressione di 76 centimetri di mercurio, e che abbia na temperatura fra 0° e +25°C.

Differenze fra la temperatura indicata dai termometri e la temperatura dell' ambiente.		Tempi impiegati partendo dalla differenza più grande, espressi in minuti primi e decimi di minuto.							
		Termometri a mercurio colle bolle de' diametri sottonotati.				Termometri ad alcool colle bolle de' diametri sottonotati.			
a scala di R.	a scala centig.	16 mill.	12 mill.	8 mill.	4 mill.	16 mill.	12 mill.	8 mill.	4 mill.
8°	10°	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	5	4,3	3,0	1,7	0,6	6,5	4,5	2,6	0,9
2	2,5	9,0	6,2	3,5	1,3	13,5	9,3	5,3	1,9
1	1,25	14,2	9,7	5,4	2,0	21,3	14,6	8,1	3,0
1/2	0,62	19,8	13,5	7,4	2,8	29,7	20,3	11,1	4,2
1/4	0,31	25,8	17,5	9,5	3,6	38,7	26,3	14,3	5,4
1/8	0,16	32,2	21,8	11,7	4,5	48,3	32,7	17,6	6,6
1/16	0,08	39,0	26,3	14,0	5,4	58,5	39,5	21,0	8,0
1/32	0,04	46,3	31,1	16,4	6,4	69,4	46,7	24,6	9,5
1/64	0,02	54,0	36,1	18,9	7,4	81,0	54,2	28,4	11,1

Nel formare questa tavola io sono partito da alcune perienze fatte su termometri a mercurio colle bolle di 16 di 8 millimetri, per mezzo delle quali sperienze ho tro- ato diversi de' primi numeri appartenenti alle colonne che iguardano i termometri a mercurio di siffatte grandezze. Dalla legge manifestata da questi numeri ho dedotto col alcolo i numeri rimanenti delle due colonne medesime, ome pure tutti quelli che riguardano i termometri a mer- urio colle bolle di 12 e di 4 millimetri. In fine aumentando ella ragione di 2 a 3 tutti gli ottenuti numeri ho ricavato uelli contenuti nelle ultime quattro colonne e che spettano i termometri ad alcool. Ho spinto le diverse colonne

fino alla differenza di $^1/_{64}$ di grado di Réaumur, ossia fino a $^2/_{100}$ di grado centigrado, perchè a questa noi possiamo riguardare come sensibilmente ottenuto l'equilibrio di temperatura coll'aria circostante. Torno poi a ripetere che questi numeri io non li riguardo che come approssimati.

L'uso di questa tavola è facilissimo. Volendosi, *p. e.*, sapere il tempo impiegato da un termometro ad alcool a bolla nuda del diametro di 8 millimetri per passare da una differenza di $2\,^1/_2$ gradi centigradi colla temperatura dell'ambiente fino ad una soltanto di $^1/_{25}$ di grado, non si fa che sottrarre il tempo 5′,3 corrispondente alla differenza di gradi $2\,^1/_2$ dal tempo 24′,6 corrispondente alla differenza di $^1/_{25}$ di grado, con che si ha 19′,3 pel tempo ricercato. Serve poi questa tavola tanto pel caso che i termometri vengano portati in un ambiente più caldo di quel ch'essi sono (purchè non determinino sopra di sè una precipitazione del vapore invisibile), quanto pel caso che essi sieno recati in un ambiente più freddo.

Nell'aria alcun poco agitata i tempi impiegati dai diversi termometri sono minori di quelli dati dalla tavola precedente, e tanto più piccoli quanto più grande è l'agitazione. In mezzo ad una camera questi tempi sono già minori per un quarto o per un quinto di quelli esposti nella tavola.

Quando paja troppo grande il tempo che dee impiegare un dato termometro per porsi sensibilmente ad equilibrio di temperatura coll'ambiente (a ridursi cioè ad una differenza di soli $^2/_{100}$ di grado centigrado), in questo caso si può accelerare l'operazione coll'agitare il termometro nell'aria, con che il tempo suddetto può essere ridotto al terzo o al quarto. Si può anche ajutare il riscaldamento o il raffreddamento del termometro con qualche corpo estraneo o più caldo o più freddo; p. e. avvicinandovi per di sotto un corpo acceso, ovvero (se si tratti del raffreddamento) ponendone la bolla entro un vaso metallico aperto verso

alto e cinto esternamente d'una stoffa bagnata d'acqua; si procura di ridurre con ciò lo strumento a quella temperatura la quale, dal considerare la celerità con cui variano le indicazioni di essa, si presume dover essere quella dell'ambiente; e si rinnova l'operazione, se si scorge che lo strumento lasciato a sè mostra ancora qualche lenta variazione.

In que' casi in cui non importa la molta prontezza, bastano le indicazioni di un termometro appeso alla parete e lasciato tranquillo.

657. Molto più complicata e più difficile ricerca è quella della determinazione delle temperature ne' luoghi aperti. Perciocchè il termometro oltre all'essere affetto dalla temperatura dell'aria che lo circonda, trovasi altresì per mezzo dell'irradiazione in comunicazione co' corpi d'intorno e vicini e lontani, i quali fra tutti insieme possono avere una temperatura media molto diversa da quella dell'aria circostante. Oltre a questo il termometro assorbe una notabile quantità della luce diffusa che gli arriva da tutte le parti, e che il può riscaldare anche di mezzo grado o di un grado sopra la temperatura che prenderebbe per le due cause precedenti. Che se la bolla stia esposta ai raggi solari, allora ella potrà per questi soli riscaldarsi di due o tre o anche più gradi centigradi sopra la indicata temperatura, secondo la trasparenza dell'aria e l'altezza del Sole e secondo la lucentezza della bolla.

Riguardo a questa determinazione si possono considerare tre distinti casi; si può cioè desiderare l'una o l'altra di queste tre cose:

1°. La temperatura dell'aria contigua al termometro, scevra dall'influenza delle irradiazioni calorifiche sì oscure che luminose de' corpi circostanti;

2.° La temperatura a cui verrebbe recato un corpo dalle irradiazioni calorifiche suddette quando mancasse l'aria;

3.° La temperatura a cui un corpo può essere recato dall'azione combinata del contatto dell'aria e dell'irradiazione de' corpi circostanti.

La prima di queste temperature ci interessa in molte occasioni; p. e. ne' calcoli delle misure barometriche delle altezze, ne' calcoli riguardanti le rifrazioni astronomiche. In questi casi occorre di conoscere la temperatura propria dell'aria, onde arguirne la densità che è uno dei principali elementi di que' calcoli. Ecco alcune delle avvertenze e delle pratiche che servono per tale ricerca.

I termometri da usarsi in questi casi debbono essere a bolla piccola, per quanto il può concedere la facilità a distinguere le indicazioni; perciocchè questa piccolezza serve tanto a far conoscere più prontamente la temperatura finale e definitiva a cui si riduce lo strumento, quanto altresì a rendere più predominante l'azione della temperatura propria dell'aria (§ 560). In grazia della maggior prontezza si sogliono preferire i termometri a mercurio; benchè, volendosi far uso di quelli ad alcool, si potrebbe ottenere lo stesso intento coll'adoperare più piccole le bolle e coll'usare vivamente colorato l'alcool. Quello che molto potrebbe giovare sarebbe che le bolle fossero rivestite di una foglia metallica lucente, p. e. d'oro, la quale rimandasse indietro il calorico raggiante e la luce (*): diverrebbe a vero dire un po' più lungo il tempo impiegato da' termometri a rendersi stazionarii; ma quando le bolle fossero piccole, p. e. del diametro di sette o di otto millimetri, questo tempo (il quale d'altronde in grazia de' movimenti dell'aria è minore di quello dato dalla tavola del §656) non verrebbe ad aumentarsi che di un terzo o di un quarto da quello ch'egli fosse. È una pratica lodevole quella di alcuni artefici di difendere

(*) Le bolle dorate vengono suggerite anche da Pouillet ne' suoi *Élémens de Physique*, t. II, p. 619.

belle de' termometri affissi a tavolette di legno ricorrendole dinanzi e a qualche piccola distanza con una minetta di latta; questa non solo le ripara dalle accidentali rotture, ma eziandio diminuisce gli effetti el calorico raggiante e della luce; però l'avere unita tavoletta fa che sieno molto lenti ne' lor movimenti che non si possano usare se non in que' soli casi ve non è necessaria la prontezza delle indicazioni. legli altri casi, p. e. ne' viaggi sui luoghi elevati, è ndispensabile che le bolle sieno isolate.

Nello adoperare lo strumento si consiglia di collocarlo in un luogo ove l'aria si muova liberamente, di tenerlo all' altezza di quattro o sei o anche più metri, se si può, al di sopra del suolo affinchè influiscano meno su di esso le irregolarità che procedono dai diversi accidenti del suolo medesimo, di difenderlo dai raggi diretti del Sole con un piccolo riparo il quale gli faccia bensì ombra, ma il lasci esposto all'aria, riscaldata da questi raggi solari medesimi, di difenderlo altresì dalle troppo vive riflessioni della luce, in somma di procurare che questo strumento indichi la temperatura generale dell'aria nello strato inferiore dell'atmosfera (1). Non par sicura la pratica di tenere appeso lo strumento al lato settentrionale di un fabbricato; poichè insieme al vantaggio del non esser esso sottoposto all' azione dei raggi solari, vi ha in questa l'inconveniente che l'aria d'intorno è anch' essa immune da questa azione, e perciò non ha la stessa temperatura di quella in mezzo dell'atmosfera.

Molto commendevole è il metodo proposto dall' astronomo Brioschi per l'oggetto di cui parliamo (2). Ha questi immaginato di collocare il termometro in mezzo a tre cilindri concentrici di carta che sieno se-

(1) Daubuisson, *Géognosie*, ediz. 1819, t. I, p. 481.
(2) *Commentarii Astronomici della Reale Specola di Napoli*, vol. I, p. 143.

parati di qualche intervallo l'uno dall'altro e lascino nel mezzo un vacuo bastevole perchè liberamente vi scorra l'aria: con questo mezzo l'effetto dell'irradiazione e della luce diffusa è quasi affatto tolto, e i termometri segnano quasi esattamente la *temperatura* dell'aria. In vece di carta si potrebbe ancora più *utilmente* far uso di quella sottilissima foglia d'ottone a cui si dà volgarmente il nome di *talco;* e si potrebbe anche rivestire la bolla stessa d'una foglia metallica.

Un'altra pratica utile per questo oggetto è quella stata adoperata da Saussure in certe sue sperienze. Attaccava egli un termometro ad una cordicella, la quale dall'altro capo era unita ad una specie di piccolo tornio; e col mezzo di questo mosso in giro da un manubrio faceva che la bolla percorresse molte volte di seguito e con grande velocità la circonferenza di un cerchio, vale a dire la circonferenza corrispondente ad un raggio di 30 pollici, colla velocità di circa 140 giri per ogni minuto primo. Aveva questa pratica due vantaggi, l'uno di rendere molto *più pronta* la comunicazione della temperatura dell'aria, l'altro di fare che questa temperatura prevalesse per molti doppii su quella che i corpi circostanti tendevano a comunicare alla bolla stessa per irradiazione. Questa bolla perciò acquistava in poco tempo la temperatura dell'aria in mezzo alla quale si moveva, la qual temperatura era sovente alcun poco diversa da quella mostrata da un termometro immobile (*).

Il secondo degli oggetti che si possono desiderare nella determinazione delle temperature all'aperto è, come abbiam detto, la temperatura che un corpo prenderebbe (e conviene intendere di un corpo dotato di una totale facoltà assorbente sì per la luce che pel calorico raggiante) allorquando esso non provasse che i soli effetti delle irradiazioni oscure e luminose,

(*) *Voyages dans les Alpes*, § 2064.

sia la temperatura che esso corpo dovrebbe avere, nde irradiare tanto calorico quanto esso ne riceve per radiazione e di oscuro e di luminoso dai corpi circotanti. Ma questa ricerca è assai difficile, e d'altronde elle comuni occorrenze non suole essere molto necesaria. Egli è perciò quasi inutile il voler proporre per esa de' metodi; eccone nulladimeno uno che potrà ntarsi da chi venga ad aver bisogno di siffatta cozione. Si espongano contemporaneamente all'aria liera in un medesimo luogo 1.° un termometro a merurio o ad alcool e a bolla piccola e dorata, il quale accia conoscere la temperatura dell'aria; 2.° un termometro differenziale nel quale l'una delle bolle sia della grandezza della precedente e anch'essa dorata, e l'altra sia di vetro nero e del diametro di sei centimetri; 3.° un Lucimetro di Leslie le cui bolle, l'una di vetro trasparente e l'altra di vetro nero siano entrambe del diametro di sei centimetri; e si lascino tutti e tre fino a che le loro indicazioni si siano rese stazionarie. Il secondo de' citati strumenti farà conoscere una gran parte dell'effetto prodotto sulla bolla nera dello strumento dalle combinate irradiazioni oscura e luminosa; e si avrà poi tutto intero questo effetto, se all'indicazione trovata si aggiungerà quel poco che può essere prodotto dalle due irradiazioni sulla bolla dorata, e che può riconoscersi dal primo strumento col tenerlo prima tranquillo in quell'aria libera e coll'agitarlo poscia velocemente; però questo effetto così determinato è quello che ha luogo allorquando l'avia che sta intorno alla bolla nera dello strumento trovasi dotata di quel particolar grado d'agitazione ch'ella ha allora, e sarebbe diverso se l'aria fosse tranquilla, o se fosse dotata di maggiore o di minore agitazione. Il terzo strumento indicherà l'effetto calorifico della sola luce su bolle vitree annerite di quella dimensione, pure nella medesima aria libera. La prima poi di queste indicazioni paragonata colla se-

conda farà conoscere quanto sia maggiore (e talvolta minore) l'azione combinata delle due irradiazioni in paragone della sola azione della luce; perciocchè, quantunque pel rendersi l'aria o più tranquilla o più agitata (senza variare le altre circostanze) venga a crescere o a diminuirsi l'una di queste indicazioni, si verrà a cangiare nella stessa proporzione anche l'altra, e il rapporto fra esse continuerà sempre a mostrare come l'azione combinata del calorico raggiante e della luce sia maggiore (ovvero minore) di quella della sola luce. Ciò ottenuto, si determini l'effetto che potrebbe venir prodotto dalla sola luce sul termometro a bolla annerita se fosse collocato nell'aria tranquilla; e ciò ricoprendo il Lucimetro con una campana di cristallo, ed aumentandone convenientemente l'indicazione onde porre altresì in computo l'effetto della luce assorbita dalle pareti della campana. Da questo effetto della sola luce, e dal rapporto fra questo effetto e quello delle due combinate irradiazioni noi potremo avere con facile calcolo anche quest'*ultimo* per riguardo all'aria tranquilla, potremo cioè conoscere a quanti gradi salirebbe nel termometro differenziale la temperatura della bolla annerita al di sopra della temperatura dell'aria in forza delle due combinate irradiazioni suddette, nel caso che l'aria medesima fosse perfettamente tranquilla. Questa temperatura poi così dedotta per la bolla annerita sarà intermedia fra quella dell'aria e quella che sarebbe voluta dalle irradiazioni calorifica e luminosa quando mancasse l'aria stessa; e noi potremo conoscere anche quest'ultima temperatura voluta dalle due irradiazioni, mediante la tavola esposta al § 531, dalla quale si può sapere secondo qual proporzione quella bolla termometrica annerita posta nell'aria tranquilla partecipi e di questa temperatura e di quella dell'aria, e perciò secondo qual proporzione la sua temperatura differisca dall'una e dall'altra di esse.

Per maggiore chiarezza, poniamo che co' citati strumenti si sia trovato che l'aria è a 0°C., e che la accennata bolla annerita del termometro differenziale in forza delle due combinate irradiazioni dovrebbe nell' aria affatto tranquilla arrivare alla temperatura +20°C. Noi dovremo ricercare qual debba essere quella temperatura la quale essendo posseduta da un inviluppo che cinga tutto all'intorno quella bolla annerita, faccia che questo inviluppo vada continuamente comunicando alla bolla, pe' non compensati scambii di calorico raggiante, quella precisa quantità di calorico che essa bolla è atta a cedere continuamente all' aria circostante tranquilla mentre è secolei a quella differenza di temperatura di 20°. Ora la quantità di calorico che la bolla annerita, essendo a +20°, può comunicare all' aria circostante quando questa è a 0°, nella tavola del § 531 è espressa da 0,32; e perchè una bolla del suddetto diametro e dotata della temperatura +20° riceva continuamente per irradiazione una siffatta quantità di calorico, ella deve trovarsi entro ad un inviluppo la cui temperatura superi di 17° quella della bolla stessa, o il quale sia a +37°C. (a dire il vero la tavola del § 531 dà questo risultamento pel caso di una bolla che abbia la temperatura di +37° e che si trovi entro un inviluppo della temperatura +20°; però le formole trovate da Petit e Dulong mostrano che collo scambiare l'una coll' altra le temperature d' un inviluppo e d' un corpo contenutovi si cambia il verso dell' irradiazione senza che si cangi la quantità di calorico irraggiata; vedi la formola I del § 533). Potremo adunque conchiudere che la temperatura a cui si porterebbe un corpo dotato di una totale facoltà assorbente sì per la luce che pel calorico raggiante quando gli mancasse l' aria d' intorno, sarebbe nell' addotto esempio quella di +37°C. Noterà qualcuno essere alquanto incomodo il diametro di 6 centimetri assegnato a diverse delle bolle de'

precedenti strumenti; ma noi abbiamo dovuto assegnarle di tal grandezza per poter approfittare de' risultamenti di Dulong e Petit ottenuti appunto per bolle di questo diametro. Si può inoltre dubitare se sia sufficientemente esatto l'assunto principio che l'effetto della sola luce e quello delle due irradiazioni combinate variino nella stessa proporzione col farsi l'aria più agitata o meno; su questo però noi non sappiamo rispondere altro, se non se che converrebbe instituire su ciò delle accurate sperienze.

Assai più importante sarebbe il terzo oggetto, quello cioè di determinare la temperatura prodotta dall'azione simultanea delle diverse cause accennate; perocchè è questa la temperatura che principalmente influisce sulle funzioni de' vegetabili e su quelle degli animali. Avranno forse qualche diversa azione sull'epidermide di questi esseri il calorico trasmesso dall'aria per contatto, quello prodotto dall'assorbimento della luce, e quello comunicato per irradiazione dai corpi collocati in distanza; e però alcune funzioni saranno diversamente modificate dall'essere il calorico piuttosto comunicato per una via che per un'altra: molta azione trovano in fatti i Botanici aver la luce sulle foglie de' vegetabili e in genere sulle loro parti verdi, le quali sotto lo stimolo de' raggi solari emettono dell'ossigeno, e nol fanno quando mancano questi raggi; e riguardo agli animali noi possiamo rammentare l'offesa che prova il volto di chi viaggia per lungo tempo sulla superficie della neve, allorchè risplendendo il Sole; questa neve riverbera sul volto medesimo una troppo viva luce (*); e questi effetti può taluno attribuirli ad una azione particolare esercitata dal calorico comunicato ai corpi per mezzo de' raggi luminosi. Probabilmente però molte

(*) Intorno agli effetti della luce sugli animali vuol esser letto un articolo di W. F. Edwards nella sua opera che ha per titolo *De l'influence des Agens physiques sur la vie*. Paris, 1824, p. 394.

altre funzioni organiche sono modificate in un modo principalissimo soltanto dall' effetto totale delle varie cause calorifiche suddette, ossia dalla temperatura cagionata da tutte e tre insieme, essendo indifferente che a questo effetto totale contribuisca più l'una che l' altra di esse. Ma nella ricerca di un tale effetto vi ha la gravissima difficoltà che la temperatura che si desidera di conoscere diversifica, sotto l' azione delle medesime cause, secondo i varii corpi. Se noi prendiamo una moltitudine di corpi di vario colore, di varia natura chimica, e di varie dimensioni, e gli esponiamo tutti in uno stesso luogo ove le cause atte a modificarne la temperatura si mantengano uniformi per un tempo sufficiente, e quivi li lasciamo in sino a che le temperature di tutti siansi rese stazionarie, dopo noi troveremo che alcuni di essi si saranno maggiormente riscaldati, p. e. i neri e quelli di maggiori dimensioni, e che altri saranno rimasti più freddi, p. e. i bianchi e i più picooli. Ora quale di queste temperature dovrà segnare il nostro termometro? E in qual modo dovrà essere formato e collocato affinchè prenda esattamente quella temperatura che per qualche nostro particolare bisogno sarà la più utile a conoscersi?

In tutte poi queste determinazioni delle temperature in mezzo all' aria è necessario aver grande riguardo di non alterare le indicazioni coll' accostamento della persona; il quale inconveniente può avvenire specialmente se le osservazioni sono fatte d' inverno (essendo allora maggiore la differenza fra la tempetura dell' aria e quella del corpo umano), se il termometro è a bolla piccola e di pronti movimenti, e se ha i gradi difficili ad essere riconosciuti dall' occhio, il qual difetto s' incontra ben di sovente ne' termometri a mercurio.

658. Oltre a queste avvertenze, necessarie a far sì che il termometro acquisti esattamente la temperatura che per suo mezzo si vuol misurare, ve ne sono al-

tre le quali giovano per ben leggere le sue indicazioni.

Prima di tutto se il termometro è a mercurio, converrà aver presente l'effetto della pressione interna del liquido (§ 652), e la differenza che questa produce nelle indicazioni dall'essere verticale il tubo dello strumento all'essere esso orizzontale. Essendo, p. e., esatte le indicazioni quando il tubo sia tenuto verticale, e occorrendo in qualche sperienza di tenerlo orizzontale, dovrà farsi alle indicazioni che si otterranno quella correzione che sarà stata determinata da prove preliminari fatte sullo strumento particolare che viene adoperato.

Similmente egli è da tener conto delle variazioni che possono aver luogo nella pressione esterna, sì in quella esercitata dall'aria, che in quella prodotta da un liquido ove la bolla si trovi immersa. A questo oggetto giova fare delle prove preliminari per conoscere quanto possa esser grande l'effetto di questa causa. E queste prove possono essere quelle stesse che servono pel caso precedente, possono cioè consistere nell'osservare la differenza che il termometro presenta dalla posizione verticale alla orizzontale, e dal calcolare qual effetto produca ogni pollice di mercurio di variata pressione; giacchè il mancare d'una data pressione interna (cagionato, p. e., dal porre orizzontale lo strumento) fa lo stesso effetto come lo aggiungersi di una eguale pressione esterna. Avendosi però il comodo sarà meglio collocare lo strumento sotto il recipiente della macchina pneumatica insieme a un altro termometro pure a mercurio che abbia il tubo aperto, e che nell'aria sotto la pressione di 76 centimetri di mercurio sia secolui ben d'accordo. Se troveremo, p. e., che nel voto i due termometri, dopo divenuti stazionarii, differiranno di $0^{\circ},9$ C., noi avremo un decimo di grado per ogni $8\ 1/2$ centimetri di variata pressione ossia per ogni $3\ 1/9$ pollici.

Oltre a questo è d'uopo aver molti riguardi nello

sporre i termometri alle alte temperature, come abbiamo già accennato al § 604.

Nel leggere in fine le indicazioni è necessario collocar l'occhio in guisa da guardare la sommità della colonna liquida secondo una direzione perpendicolare alla lunghezza del tubo, e ciò per poter rapportare esattamente la sommità medesima alle divisioni della scala, e per ischivare quello spostamento che si chiama *la parallassi.*

Di alcune altre specie di termometri.

659. *Termometri di Rutherford.* Servono questi a far conoscere il massimo e il minimo di temperatura che ha avuto luogo in qualche luogo, dentro un intervallo di tempo in cui sieno stati lasciati a se stessi.

Pel massimo di temperatura serve un termometro a mercurio col tubo orizzontale, e con un cilindretto di ferro o d'acciajo che può scorrere nella parte vacua di esso tubo. Allorquando pel calore il mercurio si dilata, spinge esso innanzi il cilindretto nel tubo, e quando esso si ritira, lo abbandona in quel luogo ove lo ha recato all'istante della massima dilatazione.

Pel minimo di temperatura si fa uso di un termometro ad alcool, il cui tubo è similmente orizzontale e contiene, ma non già nella parte vota, bensì in quella occupata dall'alcool, un cilindretto scorrevole di smalto, il quale viene ritirato indietro dall'alcool medesimo mentre questo si raffredda e si restringe, e rimane al luogo del massimo restringimento quando l'alcool torna a dilatarsi.

Per rimettere gli indici al luogo loro, vale a dire a contatto colle estremità delle colonne liquide, si rivolge momentaneamente quello a mercurio colla bolla all'ingiù, e quello ad alcool colla bolla in su, in modo che i tubi divengano verticali.

Possono servire questi termometri per far conoscere

il massimo freddo che ha avuto luogo durante la notte o durante l'inverno, come anche il massimo caldo avutosi durante la giornata ovvero durante la state; le quali osservazioni sarebbero incomodissime, se si dovessero fare con termometri comuni osservati a brevi intervalli di tempo nelle ore più cocenti *de'* giorni estivi, ovvero ne' momenti più rigidi delle mattine d'inverno (che si sono trovati esser quelli poco avanti il levar dal sole), oltre al pericolo che le indicazioni vengano alterate dalla presenza dell'osservatore.

Quello a *minimo* può anche usarsi, come si accennò nel parlare delle sperienze del sig. La-Bêche (§ 624), per misurare la temperatura del fondo de' laghi in que' casi ne' quali questa temperatura è più fredda di quella alla superficie. Però, affinchè l'indice discenda sino al debito punto, è necessario che la bolla del termometro non provi nello scendere la pressione dell'acqua circostante; perocchè quantunque formata di pareti robuste (e ciò all'oggetto altresì ch'*ella non* si rompa per questa pressione) e quantunque ripiena di alcool, una pressione di 800 ovvero di 1000 piedi d'acqua, vale a dire di 25 o di 30 atmosfere, potrebbe far salire il liquido termometrico anche di mezzo grado centigrado o di un grado (§ 652). Per impedire questo inconveniente gioverebbe rinchiudere lo strumento entro un cilindro di vetro a grosse pareti il quale per maggior fortezza non avesse parti rientranti, il quale fosse chiuso ermeticamente mediante la fusione del vetro medesimo, e dentro a cui per una parte della capacità non occupata dal termometro si contenesse dell'aria alla densità ordinaria, e per una altra parte si contenesse del mercurio ove pescasse la bolla per potere più prontamente mettersi ad equilibrio di temperatura coll'acqua esterna. Era però assai adattato per questo genere di ricerche anche il metodo di Saussure, il quale, nelle sperienze da noi

state al § 626, in luogo di far uso di termometri a *minimo*, ne adoperava di quelli comuni o senza indice, ma a bolla molto grossa e circondata da più inviluppi di legno e di stoffa che ne rendevano lentissime le indicazioni (*), di maniera che questi strumenti dopo aver dimorato parecchie ore in sul fondo delle acque, potevano conservare, nel venirne ritirati, la temperatura del fondo medesimo ivi acquistata. Egli è vero che quivi la bolla si restringeva alcun poco per la esteriore pressione, e il liquido si alzava nel tubo forse di uno o di due gradi, ma nel ritornare alla superficie la bolla riacquistava le primiere dimensioni, e il liquido tornava a discendere e a far conoscere sulla scala la propria precisa temperatura.

I termometri a *massimo* possono servire a esplorare la temperatura del fondo di quelle acque che sono più calde al di sotto che al di sopra (§ 627); ma anche qui possono aver luogo i già detti inconvenienti prodotti dalla esterna pressione, ed anzi in una maniera molto più sensibile, dovendo questi termometri essere a mercurio; perciò sono qui pure necessarie le già accennate precauzioni cioè o di rinchiudere tali strumenti in robusti cilindri di vetro, o di renderne lentissime le variazioni di temperatura per mezzo di esterni inviluppi.

660. *Termometro di Six perfezionato da Bellani.* Questo strumento fa le veci de' due precedenti presi insieme. Consiste esso (fig. 16) in un recipiente cilindrico *R* di vetro ripieno di alcool unito nella parte superiore con un tubo pur di vetro *abc*, il quale elevatosi per un breve tratto *ab* subito si ripiega all'ingiù, e poscia risale nuovamente all'insù, terminando finalmente all'alto in una bolla *r*. Anche il tubo è ripieno dello stesso alcool, trattane la cur-

(*) Può vedersene la descrizione ne' suoi *Voyages dans les Alpes*, § 35 e seg.

vatura inferiore *mdm'* che è occupata da mercurio fino ad una certa altezza sì nell'uno che nell'altro braccio, e trattane altresì la bolla *r* che non è ripiena d'alcool se non in parte. Sopra le due colonne comunicanti del mercurio riposano due cilindretti di ferro *i*, *i'*, ciascuno entro un tubettino di vetro, ed abbracciati sì l'uno che l'altro, intorno al rispettivo tubettino, da un capello annodato. Di questi due cilindretti quello più vicino al recipiente si eleva mentre l'alcool si restringe, venendo portato in alto dal mercurio, al che si presta con pochissima difficoltà essendo pochissimo il suo peso in mezzo all'alcool; e quando poscia l'alcool si dilata, in grazia dell'elasticità del capello vien lasciato nel luogo a cui è arrivato, servendo così d'indice del massimo freddo avvenuto. Quello più lontano dal recipiente in vece viene innalzato mentre l'alcool si dilata, essendo poscia abbandonato quando l'alcool si restringe, e dà in tal modo indizio del massimo di temperatura. A porre i cilindri in contatto col mercurio prima di mettere lo strumento in esperienza, si usa una piccola calamita che tiensi annessa allo strumento. Il perfezionamento di Bellani consiste appunto in quel capello che serve di molla agli indici, il quale rende molto più sicuro e più durevole l'uso dello strumento di quello ch'egli fosse colla costruzione primitiva di Six. Così perfezionato, Bellani il chiama *Termometrografo* (1).

Con questo strumento Six fece molte osservazioni sulle variazioni della temperatura durante la giornata alle varie elevazioni dal suolo (2), dalle quali osservazioni venne messo fuor di dubbio un importante fatto scoperto alcuni anni prima (fino dal 1778) dal Ginevrino Pictet, cioè che le variazioni presentate du-

(1) La descrizione e la figura dello strumento originario di Six può vedersi nelle *Transazioni Filosofiche* pel 1782.

(2) *Phil. Trans.* 1784, p. 428.

ıte la giornata da un termometro esposto all' aria era ma riparato dall' azione diretta de' raggi solari, no maggiori in vicinanza del suolo che non ad alcune cine di metri di elevazione, e che crescendo la di- ınza dal suolo stesso queste variazioni si rendono ıdatamente minori. Immaginiamo esposti all' aria li- ra in una medesima giornata parecchi termometri llocati a diverse altezze lungo una stessa verticale riparati dall' azione diretta dal sole, e che venga esa per ciascun d' essi la media delle varie tempe- ıture presentate in quella giornata; si trova che queste edie (§ 448) vanno lentamente degradando colle tezze secondo una legge che diversifica ne' varii tem- i, ma che può mantenersi prossimamente costante er più giorni consecutivi. Ora in ciascuno de' sud- etti termometri le indicazioni vanno oscillando du- ante il corso delle ventiquattro ore intorno alla media emperatura che a quella altezza corrisponde, abbas- andosi durante la sera e la notte fino allo spuntar lel sole (non computate alcune accidentali variazioni eggiere ed irregolari), ed elevandosi durante la mat- ina fin verso le due ore dopo mezzodì; e le oscilla- ıioni sono molto grandi vicino al suolo specialmente nelle giornate serene e tranquille, potendo all' altezza di due metri da terra ascendere la differenza sino a dodici, quattordici ed anche più gradi centigradi; ma esse, secondo i citati autori, si vanno gradatamente restringendo verso l' alto, e sembra che nelle alte re- gioni dell' atmosfera esse sieno affatto insensibili (*). E questo decremento delle oscillazioni è tale che nelle ore più calde di una giornata serena e senza vento un termometro elevato due metri da terra può indi- care due o tre gradi centigradi di più che uno col- locato all' altezza di settanta o di ottanta metri, con- correndo a produrre una siffatta differenza tanto il

(*) Daubuisson *Traité de Géognosie*, t. I, p. 436, ediz. 1819.

maggior riscaldamento che ha luogo nel termometro vicino al suolo, quanto la degradazione delle temperature per lo aumentarsi dell' elevazione dal suolo medesimo; e nelle ore più fredde all' incontro, siccome fino ad una certa differenza d' altezza prevale il maggiore raffreddamento notturno che soffre il termometro collocato nella più bassa stazione, al maggior grado di calore che dovrebbe quivi aver luogo, in confronto della stazione più alta, in grazia dell' anidetta degradazione delle temperature, così il termometro collocato più basso può mostrare due o tre gradi centigradi meno dell' altro. La ragione principale del fenomeno sta in questo, che le variazioni orarie della temperatura dell' aria dipendono quasi unicamente dal riscaldamento e dal raffreddamento del suolo. Questo si scalda durante la giornata pe' raggi solari che assorbe, e comunica calorico all' aria contigua, e questa salendo come più leggiera dell' altra e mescolandosi con quella degli strati superiori eleva la temperatura anche di questi, i quali senza ciò quantunque attraversati dalla luce solare pochissimo si riscalderebbero. Alla notte il suolo stesso per l' irradiazione notturna si raffredda notabilmente, e l' aria degli strati superiori che pochissimo si raffredderebbe da se stessa, viene a partecipare anch' essa di tale abbassamento di temperatura in forza del rimescolamento coll' aria degli strati inferiori stati raffreddati pel contatto col suolo, non essendo mai l' atmosfera in perfetta quiete. E queste variazioni di temperatura le debbono provare in maggior grado gli strati aerei più vicini al suolo, siccome più vicini alla sorgente del calore diurno e a quella del freddo notturno, e debbono esse quivi produrre ne' termometri più estese oscillazioni che non negli strati aerei più elevati. Però le indicazioni presentate contemporaneamente dai termometri vicini al suolo e da quelli a molti metri di elevazione possono a mio giudicio differire fra loro alcun poco più che non le vere temperature de' corrispondenti

strati aerei. Perocchè nelle ore calde tutti questi termometri vengono riscaldati non solo dall'aria contigua ma anche dall'irradiazione del sottoposto terreno, e quest'ultima può produrre ne' termometri vicini al suolo un maggiore eccesso al di sopra della temperatura dell'aria, essendo ivi men liberi e meno veloci i movimenti dell'aria medesima. E così pure durante la notte l'irradiazione verso le regioni celesti e quella verso il freddo terreno sottoposto dee produrre maggiore effetto sui medesimi termometri vicini al suolo che non su quelli a molta elevazione: stantechè, quantunque le due combinate irradiazioni possano avere la medesima efficacia per togliere calorico sì nell'una che nell'altra stazione, l'aria però meno agitata che sta intorno ai più bassi permette loro un maggiore abbassamento al di sotto della propria temperatura di essa.

Immaginò il Bellani un altro Termometrografo, utile pe' luoghi inaccessibili, e la cui prerogativa consiste nel conservare l'indicazione della massima o della minima delle temperature a cui andò soggetto, senza che questa indicazione venga alterata dalle agitazioni o dagli urti che per avventura riceva lo strumento dopo l'istante nel quale ebbe una siffatta temperatura; il quale vantaggio non si ha negli altri Termometri a massimo e a minimo. Siccome però la sua descrizione è alquanto complicata, così io non posso che rimandare i lettori alla memoria originale di Bellani, la quale trovasi inserita nel *Giornale di Fisica di Pavia* per l'anno 1811 a p. 89.

661. *Termometri metallici.* Fra questi noi citeremo primieramente quello di Breguet, utilissimo in molti casi per la somma sua prontezza. Esso consiste principalmente in uno stretto nastro metallico formato da tre laminette saldate insieme, una d'argento, una di platino ed una di oro, delle quali l'ultima posta in mezzo alle altre due serve a tenerle insieme attaccate. Questo nastro ha in origine una sensibile grossezza, ma

col laminatojo si riduce a non aver più che la grossezza di $1/50$ di millimetro. Nello strumento esso nastro è piegato a spira, essendo disposto allo stesso modo come se fosse stato ravvolto intorno ad un *sottile* cilindro verticale; alla estremità superiore è *sospeso* da un braccio orizzontale di rame, nel quale s' incurva e finisce una colonnetta laterale pur di rame che serve di sostegno; ed alla estremità inferiore lo stesso nastro sostiene un leggiero ago orizzontale che colla punta può percorrere le divisioni di un quadrante. Al mutare delle temperature la diversa dilatabilità dell' argento e del platino fa che le spire o s' aprano o si incurvino maggiormente, e che l' ago si muova sulle suddette divisioni del quadrante.

Giova esso fra gli altri usi a manifestare il raffreddamento prodotto dalla dilatazione dell' aria; al che per la sua grande prontezza è molto più acconcio de' termometri comuni. Però, come abbiamo asserito al § 445, non arriva neppur esso a indicare *l' intero* effetto, essendo le sue indicazioni non solo *determinate* dalla temperatura dell' aria che si muove dentro e fuori delle spire, ma anche (sebbene in piccola parte attesa la lucentezza de' metalli impiegati e i movimenti dell' aria durante l' esperienza) dalla irradiazione delle pareti del recipiente da cui l' aria si estrae, le quali pareti conservano sensibilmente la temperatura primitiva; a ciò s' aggiungono alcune altre ragioni a rendere meno esatte le sue indicazioni, ma noi crediamo superfluo il trattenervici. Diremo solo che il miglior metodo per *misurare* il raffreddamento che prova l' aria dilatandosi è quello di Gay-Lussac e Welter da noi esposto al suddetto § 445.

662. Molto conosciuti sono i termometri metallici a quadrante, somiglianti nella forma ad orologi da tasca. Se ne può vedere la descrizione negli *Élémens de Physique* par Pouillet, t. I, p. 307.

663. Un termometro metallico che ha servito molto

utilmente fu quello immaginato da Borda. Consisteva esso in due barre lunghe 12 piedi ciascuna, l'una di platino posta al di sotto, l'altra di rame collocata al di sopra, le quali dall'una estremità erano congiunte insieme e dall'altra libere, rimanendo in questa seconda estremità alcun poco indietro quella di rame che era appena più corta. Il movimento della estremità della barra di rame su quella del platino che era la meno dilatabile, mostrato da minute ed esatte divisioni, serviva a far conoscere la comune temperatura delle due barre (*).

Fecesi uso di un tale strumento nella misura della linea o *base* a cui si appoggiò la determinazione della lunghezza dell'arco di Meridiano misuratosi in Francia sul fine del secolo scorso. Essendo nota per esperienze precedenti la legge della dilatazione della barra di platino, e conoscendosene ad ogni istante la temperatura per mezzo dell'artificio or ora menzionato, poteva altresì ad ogni istante sapersene la vera lunghezza malgrado le continue variazioni di temperatura dell'atmosfera, e perciò poteva con sicurezza venire adoperata nella misura geodetica che si voleva eseguire.

Si assomiglia questo strumento all'apparecchio usato di poi da Dulong e Petit (§ 602) per misurare la dilatazione di alcuni metalli paragonandoli a sostanze di dilatazione conosciuta.

664. Citerò per ultimo fra i termometri metallici uno molto ingegnoso presentato pel concorso de' premii d'industria all'Istituto Lombardo-Veneto lo scorso anno 1830 da Davide Geyser orologiajo in Milano; questo al tirare d'una cordicella suona il numero de' gradi di temperatura, dando i colpi ora con una ed ora con un'altra campana, secondo che i gradi sono superiori o inferiori a 0°.

665. *Termometri ad aria.* I più usitati fra questi

(*) Biot, *Traité de Physique*, t. I, p. 164.

sono il *Termoscopio di Rumford*, e il *Termometro differenziale di Leslie*, de' quali abbiamo già parlato altrove (§ 525).

666. Il *Termometro ad aria di Amontons* perfezionato da Stancari consiste in un tubo curvato *inferiormente* a sifone, e terminato in una bolla alla estremità del braccio più corto (vedi fig. 17). La bolla è ripiena in parte d'aria asciutta, il resto è occupato da mercurio, come pure il braccio minore del tubo e una parte del maggiore. Quando per lo innalzarsi della temperatura l'aria si dilata, il mercurio ascende nel braccio più lungo, in vece vi si abbassa quando l'aria si raffredda. Affinchè nelle indicazioni dello strumento non abbia parte la pressione atmosferica, ed affinchè perciò queste indicazioni siano regolari, è d'uopo che il tubo sia superiormente chiuso e voto d'aria, che sia simile cioè ad un barometro di cui siasi chiuso ermeticamente il pozzetto e fatto servire di bolla; in ciò consiste appunto il perfezionamento aggiunto dallo Stancari (*).

667. Si possono pur riguardare quali termometri *ad aria*:

1.° L'apparecchio usato da Dulong e Petit nelle sperienze da noi citate al § 635 per determinare la dilatazione dell'aria corrispondentemente a' varii gradi del termometro a mercurio;

2.° L'apparecchio col quale Prinsep determinò la temperatura della fusione dell'argento, e di diverse leghe metalliche: di questo chi volesse vedere le minute particolarità, potrebbe leggere la memoria di lui inserita negli *Annales de Chimie et de Physique*, t. XLI, p. 247.

668. Vuol essere altresì citato fra questi il *Termometro di Drebbel* o *di Santorio*, non già per l'uti-

(*) Vedine le citazioni nel *Giornale di Fisica di Pavia*, 1816, p. 192.

tà, ma per la storia di cotali strumenti. Consisteva esso in un tubo di vetro dall'una estremità terminato in una bolla vota e dall'altra aperto, e con quest'ultima rivolta all'ingiù immerso nell'acqua o in altro liquido colorato, essendo prima stato scacciato da esso tubo un po' d'aria per mezzo del calore. Egli è chiaro che all'elevarsi della temperatura doveva scendere la colonna del liquido colorato contenuto nel tubo, e che all'incontro questa colonna liquida doveva salire quando la bolla dello strumento si faceva più fredda. Ma avevano una grandissima influenza nelle indicazioni anche le variazioni della pressione atmosferica; lo alzarsi in fatti del barometro per una linea e un quarto poteva far comparire un raffreddamento equivalente a quello di un intero grado centigrado. In vista di un tale difetto questo strumento fu presto abbandonato.

Venne esso immaginato verso il 1620, secondo alcuni dall'olandese Drebbel e secondo altri dall'italiano Santorio, e si crede il primo termometro che siasi costruito. Gli Accademici del Cimento vi sostituirono il termometro ad alcool a tubo ermeticamente chiuso: su questo non aveva effetto la pressione atmosferica, ma la graduazione era arbitraria, non essendo appoggiata a punti fissi. Cominciò a pensare di correggere un tal difetto il Renaldini nel 1694, il quale immaginò pel primo di prendere per punti fissi della scala quelli della fusione del ghiaccio e dell'ebullizione dell'acqua (*).

Approfittò del primo di questi punti fissi Newton nel 1701, avendo costruito un termometro ad olio di lino, ove segnò 0° alla fusione del ghiaccio, e 12 alla temperatura del corpo umano, dal che gli risultò 34 per la temperatura dell'acqua bollente; siccome però l'olio di lino, ad onta di molte prerogative, non si trovò essere il liquido più conveniente, così anche questa sorta di termometro andò in disuso. Réaumur perfezionò

(*) *Philosophia Naturalis.* Patavii, 1694, t. III, p. 276.

in seguito il termometro ad alcool, ma in una maniera troppo complicata, e che non fu poscia seguita. E così pure vennero dimenticate parecchie altre sorte di termometri che noi passiamo sotto silenzio.

Fra i termometri che rimasero in uso il primo a fu quello a mercurio immaginato da Fahrenheit di Danzica, chi dice verso il 1709 (1), e chi verso il 1714 (2): in esso egli indicò con 0° la più bassa temperatura che si ebbe in un rigidissimo freddo naturale, il quale egli riproduceva con una mescolanza frigorifica di neve e sale ammoniaco in parti uguali, e segnò 212° il punto dell'acqua bollente: in questo strumento la fusione del ghiaccio corrispose a 32° sopra lo zero (§ 648). In appresso si ebbe il termometro di Delue, anch'esso a mercurio, ma con una scala diversa, appellata impropriamente di Réaumur. Da ultimo si rese comune la scala centigrada, immaginata già in Isvezia da Celsius, ed adottata poscia in altri paesi, e specialmente in Francia allorchè si ridussero al sistema decimale la maggior parte delle misure. Si conservarono ancora i termometri ad alcool, ma però graduati in paragone di quelli a mercurio.

669. *Osservazione.* La dilatazione dell'aria è quella, come abbiamo detto, alla quale i moderni fisici appoggiano la gradazione delle temperature (3). Al quale uso noi abbiamo detto (§ 431) essere essi stati condotti, fra le altre ragioni, dal vedere che tutti i fluidi aeriformi si dilatano pel calore colla stessa legge, e dal considerare che in queste sostanze non operano sensibilmente altre forze che quelle del calorico. Aggiungeremo ora alcune altre ragioni che concorrono ad approvare l'uso medesimo.

Una prima ragione consiste nell'osservazione, che misurando i gradi a questa maniera, la forza espansiva di una

(1) Musschenbroek, *Intr. ad Phil. Nat.* t. II, § 1568.
(2) *Fischer Physikalisches Wörterbuch*, Göttingen, 1804, t. V, p. 56, citando le *Phil. Trans.* N. 382.
(3) Pouillet, *Élémens de Physique*, t. I, p. 302.

massa di qualsivoglia fluido aeriforme chiuso in un vaso inestensibile si aumenta di quantità uguali per uguali gradi di riscaldamento. È già questa un' altra semplicissima e bella relazione fra un tal modo di misurare le temperature, ed uno degli effetti del calorico. Ma ella sembra annunciare qualche cosa di più. Siccome le molecole aeriformi chiuse in un vaso inestensibile si mantengono alle medesime distanze reciproche a tutte le temperature a cui noi le richiamo, così è molto naturale il credere che, dedotta quella piccola quantità di calorico che serve ad annullare l' effetto dell' attrazione universale e dell' attrazione molecolare, il rimanente calorico che le investe debba produrre in esse delle tendenze a repellersi proporzionali alla sua quantità, e che quindi allo aggiungersi di uguali e successive quantità di calorico debba la forza espansiva delle suddette masse aeriformi racchiuse aumentarsi gradatamente di quantità uguali; donde verrebbe di conseguenza che in questi gas rinchiusi sieno le quantità del calorico ricevuto esattamente proporzionali agli innalzamenti di temperatura misurati dal termometro ad aria.

Un'altra ragione si è che il metodo di misurar le temperature dalla dilatazione reale dell'aria ha limiti molto più estesi che non quello di misurarle colla dilatazione apparente del mercurio, o d'altro liquido. La dilatazione apparente in fatti del mercurio nulla serve al di sotto di — 39° C., e solo per un tratto assai piccolo al di sopra di +350°. C. E un inconveniente simile vi sarebbe in qualsivoglia altro liquido che si volesse sostituire al mercurio. All' incontro la dilatazione dell' aria può servire e per temperature oltremodo più basse (non essendosi finora potuto ridurre liquida per mezzo del solo raffreddamento) e altresì per temperature assai più alte. Citeremo ad esempio le sperienze di Prinsep menzionate al § 667, nelle quali si fe' uso della dilatazione dell' aria per misurar temperature al di là di +1100.° C. (quella, p. e., a cui fondevasi una lega di una parte d' argento con $^1/_4$ d'oro, e la quale era di 2050° F., ossia di 1120°. C.)

E se vogliamo paragonare il metodo della dilatazione dell'aria coi metodi appoggiati alla dilatazione de' solidi (§ 661 e seg.), ben è vero che alle bassissime tempera-

ture potrebbero servir meglio questi ultimi, stantechè a queste temperature l'aria può cessare di essere aeriforme, mentre i solidi conservano sempre il loro stato; ma succederebbe un inconveniente contrario ne' solidi alle temperature elevatissime, nelle quali questi non potrebbero più conservare il loro stato, ma diverrebbero liquidi, soffrendo un repentino cambiamento di volume ed acquistando un' altra legge di dilatazione; laddove l'aria e gli altri fluidi aeriformi in genere continuerebbero a dilatarsi regolarmente pel calore, e i loro volumi sotto una pressione data esprimerebbero in ogni caso de' punti determinati nella scala delle temperature. La difficoltà consisterebbe nel poter misurare questi volumi; ma ciò non riguarda l' esattezza del principio teorico, bensì la facilità di applicarlo. In quanto al difetto che i fluidi aeriformi ci possono presentare alle temperature bassissime, lasceremo al tempo avvenire di trovarvi riparo, se mai ne verrà il bisogno.

Altri metodi per misurare le temperature.

670. Servono questi specialmente per le temperature elevatissime, nelle quali più non giovano i comuni termometri. Eccone diversi che possono servire or l'uno or l'altro secondo le varie occorrenze.

Metodo di Newton. È fondato questo sui tempi impiegati dai corpi nel raffreddarsi. Essendo d'opinione quel celebre Matematico, che ad uguali successivi intervalli di tempo l'eccesso della temperatura di un corpo su quella de' corpi circostanti vada diminuendo secondo una progressione geometrica (§ 553), immaginò egli di determinare la temperatura che un corpo può avere, dal tempo ch'esso impiega a raffreddarsi sino ad un grado conosciuto, e dalla rapidità che manifesta il suo raffreddamento dentro i limiti della scala de' comuni termometri; in quel modo che in una progressione geometrica decrescente, conoscendosi e la legge secondo cui un termine è minore del precedente e l'ultimo termine e il numero de' termini, può venirsi a conoscere il primo termine.

Con questo metodo determinò Newton diverse temrature, p. e. quella de' corpi roventi, e quella delle ioni di alcuni metalli. Ma non è bastantemente atto, giacchè alle elevate temperature i corpi si raddano più rapidamente di quello che porterebbe legge di Newton, onde è che le temperature coninse col suo metodo sono minori delle vere. Si pobbe però perfezionarlo approfittando delle recenti erienze sulla legge del raffreddamento dei corpi.

671. *Metodo di Wedgwood.* Veggasi quello che abbiamo detto al § 607 (*).

672. *Metodo di Guyton-Morveau.* Il Pirometro di uyton Morveau (chiamansi in generale *Pirometri* gli trumenti destinati alla misura delle elevatissime temerature) consiste in un piccolo pezzo di porcellana en cotto, ben duro, il quale ha una scanalatura ve sta collocata una corta barra di platino (lunga ollici 1,8). Questa barra dall' una delle estremità s'appoggia al fondo o termine della scanalatura, e dall' altra spinge il minor braccio di una leva angolare, l'altro braccio della quale lungo venti volte più del primo percorre colla sua estremità le divisioni di un arco graduato costrutto di platino sul pezzo di porcellana. Con questo strumento egli fece molte sperienze specialmente sulla fusione de' metalli; e da esse pare messo fuori d' ogni dubbio che i gradi assegnati precedentemente da Wedgwood, e che solevansi riportare ne' trattati di Fisica, superano il doppio del vero valore.

673. *Metodo di Biot.* Noi l'abbiamo già descritto al § 570; ove abbiam pure veduto quali difficoltà si oppongano a poterlo usare alle temperature elevate, che pur sono le sole a cui si potrebbe averne bisogno.

674. *Metodo di Achard.* Achard, celebre Fisico di

(*) Intorno a questo metodo possono leggersi alcune memorie del suo autore nelle *Transazioni Filosofiche* per gli anni 1782, 1784 e 1786.

Berlino, aveva immaginato una specie di termometro, nel quale la bolla e il tubo erano di porcellana ben cotta e semitrasparente, e contenevano una lega di due parti di bismuto, una di stagno, ed una di piombo. Alle temperature ordinarie questa lega era *solida*, e non diveniva liquida che alle alte temperature, nelle quali essa serviva di liquido termometrico mostrando colla sua dilatazione i gradi di calore attraverso al tubo semitrasparente (1).

675. *Metodo di immersione.* Si espone un corpo a quell' elevatissima temperatura che si vuol misurare, quindi toltolo di là si immerge con prontezza in una massa d' acqua di nota temperatura, e si guarda di quanti gradi essa si riscaldi; moltiplicato questo numero di gradi pel numero delle volte che la capacità *totale* pel calorico della massa d' acqua contiene quella del corpo immerso, si hanno prossimamente i gradi de' quali quest' ultimo si è raffreddato in tale immersione.

Questo metodo, stato praticato da Coulomb e da De-La-Roche (2), è assai lodevole; ha però la difficoltà che la capacità di un corpo pel calorico misurata alle basse temperature non è la medesima di quella alle temperature elevate (§ 438), il che rende necessaria una correzione che non si sa ancora ben praticare.

676. *Metodo di Prinsep.* Consiglia questo Fisico di formare varie leghe diversamente fusibili, unendo in diverse proporzioni argento con oro, ed oro con platino, e di esporle in piccoli pezzi entro vasi infusibili a quelle temperature che si vogliono misurare, guardando poscia, dopo avernele ritirate, quali fra esse

(1) Veggasi il *Traité complet des Thermomètres et des Pyromètres* traduit de l'anglais par M. Pelouze, Paris, 1828, chez Fortic, p. 34; ove si cita Magellan, *Sur la théorie du feu élémentaire*, 1780.

(2) Biot, *Traité de Physique*, t. III, p. 107, t. IV, p. 697.

biano sofferto la fusione e quali no, cosa che si ıò facilmente conoscere dal cangiamento di forma: e ò farà manifesto a qual punto si trovi la temperatura sideratа nella scala delle fusibilità delle diverse le-ıe. Con esperienze preliminari poi fatte su ciascuna ıecie di lega si determinano i punti delle loro fu-oni in gradi del termometro ad aria (1). Questo metodo a il vantaggio che un medesimo pezzo di lega può doperarsi per un numero indefinito di volte.

677. *Metodo desunto dal colore e dal grado d' ar-oventamento.* I metalli esposti ad un' elevata tempe-atura sogliono mostrare alla loro superficie alcuni colori, che poscia essi conservano anche ritirati dal fuoco, e i quali in uno stesso metallo variano se-condo la temperatura a cui sono stati esposti. Così l' acciajo che venga recato a temperature successiva-mente crescenti incomincia a prendere un colore giallo detto *di paglia*, quindi assume un color ranciato bruno, dopo si fa violetto e indi bleu, in fine quando è vicino a divenir rovente (vale a dire verso i 450°C.) prende un color verdastro molto forte detto *color d' acqua*. Di-pendono questi colori da una leggiera ossidazione superficiale del metallo determinata dal calore (2). Riguardo all' acciajo, i fabbri traggono partito da que-sta proprietà per regolare la tempera dei loro lavori. Dopo che col tuffarli nell' acqua o in altro liquido freddo hanno loro comunicata una tempera molto forte e maggiore del bisogno, sogliono essi raddolcirla rimettendo il pezzo d' acciajo sul fuoco e tenendovelo

(1) *Annales de Chimie et de Phys.* t. XLI, p. 247. e seg.

(2) Davy nella *Biblioth. Brit. Sc. et Arts*, anno 1814, t. LV, p. 159. — Fusinieri nel *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1819, p. 145. Molte altre belle osservazioni fece il D.r Fusinieri sopra i colori delle lamine sottili, le quali si possono leggere nelle memorie da lui pubblicate nel suddetto *Giornale di Fisica* gli anni 1819, 1820 e 1821, e riportate per estratto con aggiunte e schiarimenti negli *Annali delle scienze del Regno Lombardo-Veneto*, 1831, p. 153 e seg.

fino a che prenda l'uno o l'altro de' suddetti colori. Volendo una tempera che abbia ancora certa durezza, quale occorre per esempio ne' rasoj, si riscaldano soltanto fino al giallo di paglia; volendosi più *dolce*, come si usa pei coltelli, si va sino al bruno; *se più* dolce ancora, come per le molle degli orologi, si passa al violetto; talvolta si arriva anche insino al primo grado d'arroventamento cioè al rosso bruno, e se ne ha una tempera molto dolce che fra gli altri casi viene usata nelle molle delle vetture, dove si ha bisogno che il metallo non sia fragile.

Quando la temperatura de' corpi si fa molto elevata, essi divengono luminosi o come suol dirsi *roventi*, emettendo una luce più o meno intensa e di uno o di altro colore, secondo che la temperatura suddetta è più o meno elevata. Prima di tutto incominciano i corpi a rendersi visibili nell'oscurità risplendendo di un color rosso oscuro, quindi questa lor luce rossa oscura divien visibile anche di giorno, poi passano essi successivamente al rosso di ciriegia, al *rosso vivo*, al color di rosa, e finalmente al rosso bianco. Queste gradazioni di luce sembrano comuni a tutte quelle sostanze solide e liquide, le quali a queste temperature non divengono aeriformi, e sembra altresì che a una stessa temperatura tutte le sostanze risplendano di una medesima qualità di luce (*). Servono tali gradazioni a far conoscere in molti casi lo stato più o meno elevato della temperatura di un corpo, la qual cognizione, sebbene molto imperfetta, riesce sovente bastevole e utilissima, p. e. nella fusione de' metalli.

Ecco la serie delle menzionate gradazioni co' gradi approssimativi di temperatura che loro corrispondono.

(*) Questo almeno è stato verificato da Wedgwood il figlio riguardo al primo grado di arroventamento. Vedi la Fisica del Gerbi, 1823, t. III, p. 161.

Per l'acciajo	giallo di paglia	circa 200° C.	Pouillet (1)
	ranciato		
	rosso violetto		
	bleu	268	Coulomb (2)
	quasi color d'acqua	400	*id.* (3)
	color d'acqua	450	Pouillet (1)
Per tutti i corpi solidi e liquidi	rosso visibile all'oscuro	508	Wedgwood (4)
	rosso bruno visibile di giorno.	580	*id.*
	rosso di ciriegia		
	rosso vivo		
	rosso di rosa		
	rosso ranciato	900	Prinsep (5)
	rosso bianco		

678. Anche i fluidi aeriformi alle temperature elevatissime divengono luminosi. La fiamma in fatti di molte sostanze, p. e. del gas idrogeno puro, dello zolfo, del gas ossido di carbonio, altro non è che fluido aeriforme incandescente. Richieggono però tali sostanze de' gradi di calore molto più elevati che non i solidi e i liquidi. Si ponga, p. e., un sottile filo di platino alla distanza di un ventesimo di pollice dalla fiamma di una lucerna ad alcool, coll'avvertenza di ricoprire questa fiamma con un corpo opaco; si vedrà che questo filo divien rovente fino al color bianco, benchè collocato in luogo ove non vi ha luce visibile; il che mostra che l'aria che circonda la fiamma, anche recata a quell'elevatissima temperatura che rende rosso bianco il platino, non è luminosa. Segue da questo che la fiamma di quelle sostanze che bruciando danno de' prodotti solidi è molto più vivace di quella delle altre sostanze; tal è la ragione della vivacità straordinaria della luce che si osserva nelle combustioni dello zinco e del fosforo nell'ossigeno; ella è

(1) *Élémens de Physique*, I, 523.
(2) Biot, *Traité de Physique*, t. III, p. 108.
(3) *Ibid.* p. 110.
(4) *Phil. Trans.* 1784, p. 370.
(5) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XLI, p. 273.

prodotta dall' incandescenza delle minutissime particelle solide che si formano o di ossido di zinco, o di acido fosforico. Similmente se nelle leggiere fiamme dello zolfo, del gas idrogeno puro, del gas ossido di carbonio ec., si pone o una rete metallica o de' fili di amianto o dell' ossido di zinco, in genere una sostanza solida minutamente divisa, questa fiamma si rende immediatamente molto più viva. Possiamo con ciò spiegare perchè la fiamma di una corrente di gas idrogeno carburato che bruci nell' aria comune, sia assai viva se questo gas non è precedentemente misto d'aria, e sia in vece debole e pallida quando questo gas è misto di aria; proviene il fenomeno da ciò, che nel primo caso si deposita nell' interno della corrente aeriforme un po' di carbone, e che non se ne deposita nel secondo caso (*).

679. *Metodo di Becquerel.* Questo fisico, per misurare la temperatura in qualche punto di una massa aeriforme riscaldata, p. e. di una fiamma, forma un circuito con due sottili fili metallici di diversa natura e di *difficile fusione*, uniti insieme sì dall' una che dall' altra estremità (p. e. con due fili di platino che non provengano da un medesimo pezzo, e che perciò sieno alcun poco eterogenei), pone uno de' punti d' unione nel luogo di cui vuole determinare la temperatura, e per mezzo di un Galvanometro misura la copia dell' elettrico che con tal mezzo vien posto in moto. Egli si è assicurato che ne' metalli di difficile fusione questa copia d' elettrico è in ragione diretta semplice della differenza di temperatura fra i due punti del circuito metallico ove i due fili eterogenei si congiungono; perciò se da prove preliminari si conosce qual differenza di temperatura corrisponda per quella specie di fili a una corrente elettrica di data forza, sarà facile il determinare delle altre differenze di temperatura per mezzo delle correnti elettriche che a queste differenze corrispondono.

(*) Thénard, *Chimie*, 1821, t. I, p. 149.

Per fare una applicazione di questo metodo, Becquerel determinò la temperatura de' diversi punti della fiamma d' una lampada ad alcool, o per dir meglio la temperatura che prende in questi punti un filo di platino del diametro di un quinto di millimetro. Le fiamme in generale, e in specie quella di una lucerna o quella di una lampada ad alcool, sono formate principalmente di quattro parti; la prima, la quale si trova alla base, è di un color turchino e si va assottigliando a proporzione che più si scosta dal lucignolo; la seconda è lo spazio oscuro nel mezzo della fiamma; la terza è l' inviluppo luminoso che circonda questo spazio e che costituisce la fiamma propriamente detta; la quarta finalmente è l' inviluppo leggiermente luminoso che cinge la vera fiamma. Ora nel superior limite della zona di color turchino che è il luogo più caldo della fiamma, il sig. Becquerel trovò la temperatura di 1350° C., nella parte bianca o più luminosa trovò 1080°, e nello spazio oscuro in mezzo alla fiamma ottenne 780°; però egli pensa che quest' ultima non sia la vera temperatura di questo spazio, ma ch' ella sia troppo grande, giacchè quando il filo metallico vi si trova immerso con uno de' punti d' unione delle parti eterogenee, esso viene altresì fortemente riscaldato dal vicino inviluppo luminoso cui esso filo attraversa (*).

Dello zero assoluto di temperatura, e della quantità assoluta del Calorico contenuto nei corpi.

680. Tutte le misure di cui noi abbiamo parlato finora rispetto al Calorico, o riguardino esse le temperature o riguardino le quantità del calorico de' corpi, sono tutte misure relative; esse esprimono cioè o di quanto la temperatura di un corpo superi quella che esso ha corrispondentemente a un dato fenomeno naturale, o mostrano la quantità di calorico che per

(*) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXXI, p. 392.

avere quella prima temperatura deve esso contenere oltre alla quantità che il tiene a quell'altra. Ma quale sarà la quantità assoluta di calorico che si contiene in un corpo a una temperatura determinata? E a quanti gradi dell'una o dell'altra delle scale termometriche si dovrà credere distante lo zero assoluto di temperatura dal punto della congelazione dell'acqua? Su questo particolare noi non abbiamo che delle ipotesi, e forse non arriveremo mai a cognizioni veramente sicure. Ecco nulladimeno un'opinione che non manca di probabilità.

Se si avrà una determinata massa di un dato fluido aeriforme contenuta entro a uno spazio determinato ed invariabile, e dotata della temperatura o°C., e si vorrà diminuirne la forza espansiva di

$$\frac{1}{266\,2/3}\ ,\ \frac{2}{266\,2/3}\ ,\ \frac{3}{266\,2/3}\ ,\ \text{ecc.}$$

converrà abbassarne la temperatura rispettivamente di

$$1°\text{C.},\ 2°,\ 3°,\ \text{ec.},$$

misurando i gradi secondo le convenzioni già stabilite. Ora egli è assai probabile che in questa successiva diminuzione di forza espansiva scemino uniformemente anche le quantità assolute del calorico contenuto nella massa aeriforme (*), e che inoltre cotali quantità di calorico sieno nella precisa proporzione delle forze espansive; giacchè in molecole cotanto lontane quanto sono quelle de' fluidi aeriformi è verisimilmente debolissima l'attrazione molecolare, e la lor forza ripulsiva sembra essere in ragione precisa della densità del calorico che le investe. Ciò essendo, la quantità assoluta del calorico contenuta nel contemplato gas a o°C., sarebbe uguale a 266 2/3 volte quella che è capace d'innalzarne la temperatura di 1°C., nel supposto ch'esso gas sia tenuto entro un vaso inestensibile: lo zero

(*) Vedi più sopra al § 609.

assoluto corrisponderebbe così a —266°⅔ C., ossia a —213⅓ R. (1). E in un corpo solido, il quale mostri poca variazione nella capacità specifica al variare delle temperature (§ 438), la quantità assoluta del calorico contenuto a 0°C. sembra essere poco diversa (d'una differenza in meno) da 266 ⅔ volte quella che il può scaldare da 0° a +1°C.

Tavola di alcune temperature più notabili.

681. Freddo assoluto, secondo Desormes e Clement ed altri . . . . . —266°,66 C.
Massimo freddo artificiale ottenutosi finora (2) . . . . . — 68,33
Temperatura degli spazii planetarii secondo Fourier, circa . . . . . — 50
Freddo massimo osservato nelle regioni polari (3) . . . . . — 49,7
Congelazione del mercurio . . . . . — 39,5
Congelazione dell'acqua 0
Media temperatura della superficie del globo, circa . . . . . + 12
Temperatura del corpo umano, circa . . 37,5
Massima temperatura naturale osservatasi nell'aria atmosferica libera (4) 45,3

(1) I sigg. Desormes e Clement cercano di appoggiare un tale risultamento con altre ragioni ancora; ma di queste noi non veggiamo bene la concludenza. Vedi la Fisica del Gerbi, t. III, p. 149, ediz. 1823. L'opinione poi che lo *zero* assoluto della scala delle temperature si debba desumere dalla elasticità dell'aria risale fino ai tempi di Amontons che ne parlò nelle Memorie dell'Accademia di Parigi per l'anno 1703.

(2) L'ottenne Walker con una mescolanza frigorifica; veggasi al § 456.

(3) L'osservò il cap. Franklin; V. gli *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXVII, p. 422.

(4) L'osservò Beauchamp a Bassora; *ibid.* p. 426.

Fusione di una lega di 3 parti di stagno, 5 di piombo, e 8 di bismuto.	99
Ebullizione dell'acqua sotto la pressione di 76 centimetri di mercurio	100
Ebullizione del mercurio sotto la pressione medesima (term. ad aria)	350
Calor rovente visibile nell'oscurità, circa	510
Calor rovente visibile di giorno, circa. .	580
Temperatura a cui si saldano i pezzi di ferro, secondo Guyton	3600
Fusione del ferro fuso (*ghisa* de' Lombardi), secondo il medesimo	4800
Fusione della porcellana, *id.*	5300
Fusione del ferro malleabile, *id.*	6350
Fusione del platino, *id.*	6350+

CAPO X.

DELLA FUSIONE E DELLA SOLIDIFICAZIONE DEI CORPI.

682. Il secondo de' principali effetti fisici del Calorico abbiamo detto (t. I, § 147) essere il cangiamento che esso produce negli stati de' corpi; ed abbiamo altresì detto esser duplice il cangiamento prodotto dall'accumulazione del calorico, esservi cioè il passaggio dallo stato solido al liquido, e quello dallo stato liquido all'aeriforme; ai quali corrispondono due passaggi inversi cagionati dalla sottrazione del calorico medesimo, che sono il passaggio dallo stato liquido al solido, e quello dall'aeriforme al liquido. Esporremo in questo capitolo le dottrine che riguardano il passaggio de' corpi dallo stato solido al liquido e il loro ritorno dallo stato liquido al solido.

Della Fusione.

683. Se noi eleviamo gradatamente la temperatura di un corpo solido, noi osserviamo che giunta questa temperatura ad un certo punto, più o meno elevato secondo la particolare natura del corpo, questo passa allo stato liquido, ossia si *fonde*. Noi veggiam questo a temperature freddissime nel mercurio gelato, alle temperature ordinarie nel ghiaccio, a temperature alquanto elevate nello zolfo, nello stagno, nel piombo, ec., a temperature ancor più alte nel vetro, nel ferro, ec. E si crede che sia soltanto la imperfezione de' nostri mezzi quella che ci toglie di poter far fondere alcune sostanze che diciamo perciò *infusibili* o *refrattarie*, qual è, p. e., il carbone, stimandosi che ad un calore abbastanza forte tutti i corpi della natura si dovrebbero liquefare (§ 151).

684. Sebbene vi sia una grande diversità ne' gradi di calore necessarii alla fusione delle diverse sostanze, una stessa sostanza si fonde però sempre ad una temperatura medesima, non variando questa temperatura nè per le circostanze in cui può essersi trovato il corpo prima della fusione, nè per quelle che possono aver luogo nella fusione medesima. Sia un pezzo di ghiaccio stato esposto a freddi artificiali fortissimi, o sia egli sempre rimasto a temperature poco inferiori a quelle in cui si è formato, la temperatura a cui si fonderà sarà sempre quella stessa; e questa non si muterà nè per la diversità della pressione atmosferica, nè per la molta o poca massa del ghiaccio stesso, nè per altra circostanza, purchè si tratti sempre di ghiaccio purissimo, cioè tale che fondendosi dia dell'acqua simile alla distillata.

685. Arrivato che sia un corpo a quella temperatura che è necessaria per l'incominciamento della sua fusione, conserva esso invariabilmente questa mede-

sima temperatura per tutta la durata di tale sua fusione. Hanno provato gli Accademici del Cimento (ed è sperienza facile a rifarsi), che posta una massa di ghiaccio minutamente pesto con in mezzo un termometro, entro ad un vaso, e collocato quest'ultimo in mezzo all'acqua bollente, il termometro non si muove finchè quasi tutto il ghiaccio non è fuso. Succede questo perchè la natura di qualsivoglia corpo solido è tale, ch'esso non può oltrepassare minimamente la temperatura della fusione senza fondersi, e nell'operarsi una tale fusione diviene latente tutta quella quantità di calorico che ad esso corpo viene somministrata, fondendosene precisamente tanta parte quanta basti a rendere latente tutta la quantità di calorico suddetta. Può però qualche porzione di questo calorico venir ricevuta dal liquido ottenutosi, e portarlo per qualche momento al di sopra della temperatura della fusione; ma col portarsi questo liquido, in forza de' moti che lo agitano, in contatto della massa ancor solida, comunica immediatamente a questa quasi tutta la quantità di calorico ricevuta, fondendone qualche nuova quantità, e così discendendo le molecole liquide che sono arrivate a quel contatto sin presso alla vera temperatura della fusione. Nella sperienza perciò menzionata precedentemente, affinchè il termometro destinato ad esplorare la temperatura non si elevi, è necessario ch'esso si mantenga interamente in mezzo al ghiaccio, essendo questo quello che non si scalda minimamente; quando esso è fuso per una gran parte, e il termometro cessa dall'esserne circondato, può questo strumento elevarsi di alcuni gradi, quantunque restino ancora de' pezzi di ghiaccio sparsi sulla superficie dell'acqua. Rispetto poi a questo ghiaccio in particolare è da avvertirsi, che quando la temperatura dell'ambiente è superiore a $+ 4^{\circ}$ C., l'acqua che nasce dalla sua fusione, e che si trattiene sotto di esso in fondo al vaso, rimane presso a poco alla temperatura del massimo di densità.

Deluc ripetè l'esperienza degli Accademici del Cimento a quest'altro modo. Pose ad agghiacciare dell'acqua pura con in mezzo un termometro, facendo anche che la temperatura della massa di ghiaccio scendesse alcuni gradi sotto lo zero. Rimise quindi il recipiente in un luogo dove la temperatura fosse superiore allo zero, e vide che il termometro si alzò da principio in sino a 0°, ma quivi si fermò fino a che il ghiaccio che circondava la bolla non venne fuso, e la bolla non ne rimase scoperta.

Questa costanza della temperatura durante la fusione dei corpi ha somministrato ai Fisici un comodo punto fisso per la graduazione de' termometri, vale a dire il punto dello zero de' termometri centigradi e di quelli a scala detta di Réaumur.

686. Un altro fatto che si osserva generalmente nella fusione delle sostanze, e su cui torneremo nel parlare della solidificazione, è quello del cangiamento che i corpi soffrono nel loro volume, ora restringendosi essi ed ora gonfiandosi. Si gonfiano l'olio d'uliva e il mercurio; si restringono il ghiaccio e il ferro.

Di alcune particolarità che si osservano nella fusione di diverse sostanze.

687. Le sostanze semplici, e in generale la maggior parte delle sostanze inorganiche passano dallo stato solido al liquido senza gradazioni intermedie; così fa il ghiaccio, lo stagno, il piombo, ec. Ma alcune fra le composte, specialmente ne' regni organici, si comportano diversamente: esposte al calore, da solide divengono molli, e a poco a poco si fanno più sciolte, finchè alla fine si riducono affatto liquide: così avviene, p. e., del sego.

In questo stato di semifluidità si trovano naturalmente molte sostanze anche alle temperature ordinarie; vale a dire le sostanze viscose, le oleose, le ge-

latinose. Queste a temperature molto fredde sarebbero perfettamente solide, e a temperature molto calde godrebbero di una perfetta fluidità; ma alle temperature ordinarie formano come una classe intermedia fra le sostanze solide e le liquide.

Si osservano poi delle singolari differenze in queste sostanze semifluide. Alcune, quali sono la trementina, la mescolanza in certe proporzioni di pece greca e trementina, e altre simili sostanze resinose, nelle temperature poco elevate si mostrano molto resistenti ai colpi bruschi, e in genere alle forze istantanee, e sovente per l'azione di queste forze si rompono anzichè cangiare di forma: avendo io fusa della pece greca con della trementina e con una piccola dose di alcool, di maniera che ne risultasse una molle pasta, e avendo fatto di questa un pezzo cilindrico che facilissimamente si piegava, quest'ultimo lasciato cadere a terra si ruppe in pezzi come vetro, mostrando una frattura vitrea. All'incontro queste medesime sostanze cedono facilissimamente alle piccole forze lungamente continuate; e lasciate a se medesime entro a vasi non affatto pieni dispongonsi in superficie perfettamente orizzontali con un leggiero rialzamento alle pareti dovuto alla capillarità, precisamente come fanno l'acqua e lo spirito di vino. Esse non sono punto elastiche; piegatone un pezzo in qualsivoglia modo, rimane questo colla forma ricevuta, senza retrocedere per interna forza alla forma precedente, e obbedendo così (benchè talvolta a poco a poco) a qualsivoglia forza esteriore.

Altre di queste sostanze semifluide, qual sarebbe la soluzione allungata di colla animale rappresa, e in genere le sostanze gelatinose, sono tenerissime, e con pochissima forza si possono rompere; nulladimeno sono elastiche, tornando a riacquistare le forme precedenti dopo cessata l'azione delle forze estranee, e non cedono alla gravità, ma conservano sensibilmente le loro forme senza spianarsi in superficie orizzontali, e mostrano così di resistere alle piccole forze, sebbene queste sieno continuate a lungo.

Per ispiegare queste singolarità si potrebbe, fra le altre maniere, riguardare le prime di queste sostanze, cioè le resinose, siccome formate da una mescolanza in parte chimica e in parte

meccanica (T. I, § 359 e 360) di più altre sostanze diversamente fusibili; della quale mescolanza a basse temperature tutti i componenti fossero solidi, e a temperature più elevate l'un d'essi si fondesse e sciogliesse una parte del componente o de' componenti più infusibili, tenendo il rimanente in sospensione in piccolissime masse solide, e sciogliendo poscia anche queste ultime allo elevarsi maggiormente della temperatura. Si spiegherebbe con questa ipotesi la proprietà che esse hanno di farsi gradatamente più sciolte a proporzione che se ne eleva la temperatura, come pure il cedere alle piccole forze e lo spianarsi in superficie orizzontali.

Le seconde ossia le gelatinose si potrebbero considerare similmente siccome prodotte da una mescolanza chimica e meccanica di più sostanze diversamente fusibili; però la parte ancora solida del componente meno fusibile converrebbe riguardarla formata alla guisa di un tessuto reticolare o cellulare il quale imprigionasse le parti liquide, e colla propria coesione ed elasticità fosse causa sì della resistenza alle piccole forze e della conservazione della figura ad onta dell'azione della gravità, come anche della elasticità della massa.

688. Lo zolfo tenuto fuso per lungo tempo prende alquanto di consistenza, divien rosso, e acquista la proprietà di restar fuso anche dopo raffreddato. Riacquista però collo star freddo le proprietà primitive.

689. Que' sali solidi che contengono molta acqua di cristallizzazione, quale sarebbe p. e. il muriato di calce, venendo esposti al calore cominciano a liquefarsi collo sciogliersi in quest'acqua; in seguito al ridursi di questa in vapore si diseccano, e tornano solidi; quindi a un calore più forte si liquefanno per vera fusione. Se in luogo dell'acqua di cristallizzazione ne contengono di quella non combinata colle loro molecole, ma semplicemente interposta, questa pel calore si vaporizza e si espande mentr'essi sono ancora solidi, e li fa crepitare disperdendone qua e là con violenza i pezzi (T. I, § 188).

690. I legni, le foglie de' vegetabili, le carni degli

animali, e in genere tutte le diverse parti dei corpi organici, esposte al fuoco, anzichè fondersi, si decompongono, perdendo prima l'acqua, e quindi diversi altri de' loro componenti che passano allo stato aeriforme per lo più combinati insieme in varie guise, e lasciando indietro del carbone ed altre sostanze solide di difficilissima fusione.

Lo stesso fanno anche diverse sostanze inorganiche, p. e. il carbonato di calce, il quale pel calore perde l'acido carbonico. Diverse però si possono fondere col riscaldarle in vasi chiusi. James Hall ha potuto sotto pressioni fortissime fondere il carbonato calcare, il quale raffreddandosi ha dato de' chiari segni di cristallizzazione (*).

691. Osservasi in generale che le mescolanze chimiche di più sostanze sono più fusibili di quello che parrebbe portato dalla fusibilità de' componenti. Se, p. e., i componenti sono due e in ugual dose, e l'un d'essi si fonde a $+100°$ C. e l'altro a $+200°$, il composto non ha bisogno per fondersi della temperatura di $+150°$, ma gli bastano $+120°$, ovvero $+110°$, o fors' anche meno di $+100°$. N' abbiamo un esempio nella famosa lega di Arcet, formata da 2 parti di piombo, 3 di stagno e 5 di bismuto. Il piombo è fusibile a circa $+320°$ C., lo stagno a circa $+227°$, e il bismuto a $+239°$ circa; e la lega anzidetta si fonde al calore dell'acqua bollente. Anzi se è formata con 3 parti di stagno, 5 di piombo e 8 di bismuto, si fonde a soli $+99°$ C.

Un bell'esempio si ha altresì nella mescolanza delle amalgame di piombo e di bismuto. Fatte queste con opportuna quantità di mercurio, alle temperature ordinarie sono solide, e mescolate insieme formano un liquido. Nel fare questa mescolanza si osserva anche un abbassamento di temperatura, il quale dipende dal passaggio del calorico allo stato latente (§ 454).

(*) *Bibl. Brit. Sc. et Arts*, t. XXVII, p. 295.

Questa è la ragione dei *fondenti*, col qual nome noi chiamiamo delle sostanze atte a farne fondere alcune altre che altrimenti sarebbero di una fusione difficilissima o anche per noi impossibile. Tali sono la potassa e la soda che servono alla fusione della silice per la fabbricazione del vetro. Tale è il borato di soda il quale facilita le saldature de' metalli tenendone ben terse le superficie per la proprietà ch'esso ha di fondere i loro ossidi.

Un singolare esempio dell' azione de' fondenti lo abbiamo nel traforamento del ferro per mezzo dello zolfo. Arroventata una grossa barra di questo metallo ed appoggiatovi sopra un bastoncello di zolfo, questo immediatamente la trafora lasciandovi un buco della stessa forma.

Un altro esempio il possiamo avere nel ferro impuro (detto anche *ferro fuso*, e da' Lombardi *ghisa*), il quale è molto più fusibile del ferro depurato o malleabile.

Le mescolanze frigorifiche si possono riguardare come unioni di sostanze solide che venendo poste insieme divengono più fusibili, cioè fusibili a temperature estremamente basse. Si fondono adunque queste sostanze l'una l'altra, e dal passaggio del calorico allo stato latente si produce il freddo artificiale. È questo un fenomeno simile a quello delle amalgame di piombo e di bismuto, nel qual pure ha luogo un abbassamento di temperatura.

La facoltà che ha l'acqua di sciogliere i sali ed altre sostanze, è dello stesso genere di quella de' fondenti. Il fenomeno è il medesimo come se si facesse operare del borace su d' un ossido metallico, ad una temperatura tale che il borace fosse liquido e che l'ossido coll' ajuto del borace potesse fondersi. Non v' ha altra differenza se non che nel caso dell' acqua l'effetto ha luogo alle temperature ordinarie.

962. Aggiungeremo una tavola delle temperature a

cui si fondono diverse sostanze, cominciando dalle più infusibili.

Carbone: ha dato qualche indizio di fusione solamente col fortissimo calore prodotto dalle correnti elettriche.
Silice pura, fusibile solamente colla combustione del gas tonante.
Allumina pura, *idem.*
Calce pura, *idem.*
Magnesia pura, *idem.*
Platino: si è potuto fondere colla fiamma alimentata dall'ossigeno; meglio vi si riesce col gas tonante.
Ferro: secondo Guyton Morveau (1) è fusibile circa a . . . . . +1635°C.
e comincia a potersi saldare insieme a 1600
Oro: secondo il medesimo si fonde a . . 1180
Rame: secondo lo stesso a 1207
Argento: secondo lo stesso a 1033
secondo Prinsep in gradi del termometro ad aria (2) 999
Antimonio: secondo Guyton Morveau. . . 513
Zinco: secondo il medesimo 374
Piombo: secondo il medesimo 322
secondo Daniell (3) 320
secondo Bellani (246°R.) (4) 308

(1) *Annales de Chimie, Juin* 1814. Su queste elevatissime temperature però vi ha ancora dell'incertezza.
(2) *Annales de Chimie et de Phys.* t. XLI, p. 273.
(3) *Traité complet des Thermomètres et des Pyromètres*, traduit de l'anglais par Pelouze. Paris, chez Fortic, 1828, p. 94.
(4) *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1809, p. 528. — Biot nel suo *Traité de Physique*, t. I, p. 534, e t. IV, p. 677, pone la fusione del piombo a +260°C. Però questa determinazione è probabilmente troppo scarsa, avendo Biot fatto uso del metodo indicato al § 570, il quale è di tale natura che le temperature elevate vengono mostrate minori del vero.
Le temperature trovate dal Bellani sono espresse in gradi del

Bismuto: secondo Daniell	239
Stagno: secondo lo stesso	227
secondo Bellani (175° R.)	219
Zolfo	109
Sodio	90
Cera, circa a	68
Potassio	58
Fosforo	43
Sego	33
Olio d'uliva (*), circa a	0°
Ghiaccio	0°,000
Olio di trementina	— 10
Mercurio	— 39,5

L'etere solforico sottomesso anche a un freddo di —50° C. ha conservato lo stato liquido. Si stima pertanto che il suo punto di fusione, quando fosse solido, sia al di sotto di questo grado.

L'alcool, secondo Walker, è allo stato liquido anche a un freddo di —68° C.

Più al di sotto ancora dev'essere il punto di fusione di quelle sostanze che ordinariamente hanno lo stato aeriforme, e delle quali si è solamente potuto farne passare alcune alla liquidità mediante un grandissimo freddo ajutato da fortissime pressioni.

termometro a mercurio: volendole ridurre a gradi del termometro ad aria può servire la tavola data al § 635. Nella determinazione però di queste temperature fu forse scarsa la correzione fattasi per la parte del tubo termometrico la quale rimaneva fuori del bagno liquido. Vedi più sotto al § 743.

Le temperature che abbiam prese da Guyton e da Daniell sono state determinate con de' pirometri metallici; nè si sa qual correzione dovrebbe farsi per ridurle in gradi del termometro ad aria. Pare soltanto che esse debbano avere un piccolo errore in più.

(*) Vedi più sotto al § 707.

Della Solidificazione.

693. La solidificazione ossia il passaggio de' liquidi allo stato solido avviene in generale alle medesime temperature alle quali i solidi corrispondenti si fondono. L' acqua, p. e., si solidifica a $+0°$C., lo stagno a $+227°$C., il mercurio a $-39°,5$

Quando però queste sostanze si lascino raffreddare lentamente e tranquillamente, possono talvolta scendere qualche grado sotto la temperatura della loro fusione senza divenir solide. Noi possiamo agevolmente osservare un tal fatto nell'acqua. Questa venendo tenuta in un luogo tranquillissimo e lasciata raffreddare lentamente, in ispecie se sia stata distillata e privata d'aria coll' ebullizione e stia difesa dal contatto dell' aria fredda per mezzo di uno strato d' olio, si può conservare liquida fino a $-8°$C., a $-10°$ ed anche a $-12°$ (*).

Il fenomeno si mostra anche nell'acqua che tenga sciolta qualche sostanza o salina o acida o *alcalina*. Hanno la proprietà siffatte sostanze di abbassare il punto della congelazione dell'acqua; e la tranquillità e la lentezza del raffreddamento possono far sì che le soluzioni suddette si mantengano liquide al di sotto del nuovo punto di congelazione. Però l'acqua di fiume che tenga sospese delle abbondanti particelle terree, secondo Blagden il quale si occupò con molta diligenza intorno a questo argomento, non si può raffreddare minimamente al di sotto di $0°$C. senza gelare. E ciò secondo lui può aver dato origine all'opinione che l' acqua bollita geli più facilmente di quella non bollita: si sarà questo osservato in acqua che tenesse sciolto del carbonato calcare col favore dell'acido carbonico (T. I, § 271), il che suol essere il caso delle acque di molte sorgenti; l'ebullizione avrà svolto l'a-

(*) Biot, *Traité de Physique*, t. I, p. 254.

cido carbonico e fatto precipitare il carbonato, e con ciò intorbidata l'acqua, e resa più facile la congelazione di questa (*).

Appena poi che l'acqua incominci a gelare in qualche punto o pel venirle portato a contatto un minimo pezzettino di ghiaccio, o per qualche moto specialmente di tremore o per altra qualsivoglia causa, la congelazione si propaga immediatamente per tutta l'estensione della massa acquea; imperocchè la minima massa solida che vi si trova formata determina colla sua attrazione le molecole che sono ancora sciolte a unirsi seco, e queste insieme colle prime determinano la unione di altre, e in cotal modo si formano progressivamente degli aghi che con cristallizzazione affrettata crescono istantaneamente in lunghezza e si ramificano in tutte le direzioni. Nello stesso tempo una certa quantità di calorico da latente rendesi libera, e ne vengono riscaldati l'acqua e il ghiaccio formatisi in sino a 0°C. (§ 457): non però più in su, poichè si agghiaccia appena tant'acqua quanta è d'uopo perchè la temperatura si rechi a 0°. Se l'acqua, p. e., comincia a gelare quando è a —7°,5C., se ne agghiaccia istantaneamente soltanto un decimo; perciocchè questo decimo sviluppa coll'agghiacciarsi tanto calorico quanto occorrerebbe per portare da —7°,5 in sino a 0° e la massa d'acqua che resta e la parte di ghiaccio formato. Volendo in fatti liquefare di nuovo questo decimo di ghiaccio onde ottenere l'intera massa allo stato di liquidità e a 0°, ovvero volendo riscaldare la total massa, finchè è ancor liquida, da —7°,5 a 0° onde ottenere similmente l'intera massa a 0° e liquida, converrà in ambi i casi impiegare prossimamente la medesima quantità di calorico, trascurando siccome piccolissima la differenza prodotta dal mutarsi colle

(*) *Phil. Trans.* t. LXXVIII, an. 1788 — Haüy, *Traité élémentaire de Physique*, ediz. 1821, t. I, p. 259.

temperature la capacità pel calorico (per questa causa sino la quantità di calorico necessaria a riscaldar l'acqua da —7°,5 a 0° potrebbe essere appena diversa dal decimo della quantità necessaria a riscaldarla da 0° a +75°). Tanto calorico adunque si dee contenere nella total massa allorchè essa è tutta liquida e a —7°,5, come allorquando essa è formata di $^9/_{10}$ allo stato liquido e a 0°, e di $^1/_{10}$ allo stato di ghiaccio pure a 0°. Di maniera che quando coll'istantaneo agghiacciamento si è formato questo decimo di ghiaccio, la temperatura acquistata dall'acqua ancora liquida impedisce ogni ulteriore agghiacciamento; e prima che si sia formato tutto questo decimo la temperatura della parte ancor liquida non può essere per anco salita fino a 0°. E questo ghiaccio si troverà, come abbiamo detto, diffuso in tutta quanta la massa liquida a guisa di neve inzuppata d'acqua.

Dopo questo agghiacciamento rapido, se il vaso si troverà in un luogo ove la temperatura sia al di sotto di 0°, continuerà l'acqua ad agghiacciare a poco a poco, con una prontezza più o men grande secondo la quantità del calorico che verrà da essa perduto; e comincerà questa solidificazione lenta alle parti più esteriori della massa acquea, siccome quelle che si trovano più esposte alla perdita del calorico, e progredirà a passo a passo verso le parti più centrali che si agghiacceranno le ultime; durante il qual tempo quelle parti ove rimarrà ancora dell'acqua liquida conserveranno precisamente la temperatura 0° C., e soltanto dopo terminata la solidificazione di tutte le parti prenderà la temperatura ad abbassarsi dappertutto sotto a 0°. Il che si effettuerà lentamente continuando fino a che il ghiaccio siasi portato alla stessa temperatura de' corpi circonvicini.

Non è dunque sicuro indizio che l'acqua anche pura non si trovi al di sotto di 0°, il vederla allo stato liquido; bensì, lasciando da banda le differenze im-

percettibili, potremo dire ch'ella è a 0° quando la vedremo per tutte le parti sparsa di ghiaccio; poichè se fosse per un momento più calda o più fredda, verrebbe a fondersi tanta parte del ghiaccio con cui è mista, o a formarsene di nuovo tanto altro, da ridurla esattamente a questo punto. Si avrà poi con precisione grandissima questo grado 0° quando una massa di acqua pura sparsa di ghiaccio si troverà in un ambiente il quale abbia una temperatura alcun poco inferiore a 0°. E tutto questo è necessario a sapersi da chi costruisce i termometri, affine di saperli ben graduare.

Questo che abbiamo detto spiega perchè talvolta in un catino pieno di acqua interamente liquida, col solo toccarla, una parte di essa immediatamente si agghiacci.

694. *Cangiamento di volume.* La solidificazione suole essere accompagnata da un cangiamento di volume, venendo per essa alcune sostanze a dilatarsi ed altre a restringersi.

Fra quelle che s' aumentano di volume è da annoverarsi in primo luogo l' acqua. Questa dopo essersi alcun poco dilatata nel raffreddarsi da $+4°,1$ C. a 0°, convertendosi a questo punto in ghiaccio si dilata ad un tratto di circa $1/12$ del suo total volume, cioè circa 70 volte più che non fa da $+4°,1$ a 0°. Ridottasi poi in ghiaccio, si comporta come tutti gli altri solidi restringendosi gradatamente a proporzione che si raffredda (vedi la tavola delle dilatazioni al § 641). Da una siffatta dilatazione nasce la frequente rottura di que' vasi ove l' acqua viene a gelare senza avere sufficiente spazio ove potersi allargare. Per cagione della stessa il ghiaccio galleggia sulla superficie delle acque de' fiumi e de' laghi, e molto più de' mari la cui acqua è specificamente più pesante dell' acqua dolce. Da essa dilatazione sogliono molte volte soffrir danno i vegeta-

bili (1); il gelo dello strato più superficiale del suolo strozza il collo delle tenere radici delle erbe; e la linfa degli alberi, che è principalmente composta di acqua, gelando rovina i vasi destinati alla sua circolazione, rompe le fibre, e talora fa screpolare i fusti. Gli stessi minerali talora ne soffrono: alcune pietre venendo sopraggiunte dal gelo mentre sono bagnate si sfogliano; i pezzi di marmo che sono stati staccati col mezzo della polvere, e dove per lo scuotimento si sono formate delle minime fessure, possono per la medesima cagione spaccarsi in diversi luoghi: le quali cose giova che si conoscano dagli artisti per loro norma (2). Sulle alte montagne per l'infiltrazione e la congelazione dell'acqua si aprono a poco a poco i massi petrosi, e se ne staccano i pezzi ingombrando col lungo scorrere degli anni i fianchi delle alte vette (t. I, § 17).

695. Una tale dilatazione si opera con una forza quasi irresistibile; ed è facile in fatti lo scorgere che si richiederebbe una forza immensamente grande per restringere e per ritenere il ghiaccio al volume dell'acqua. Gli Accademici del Cimento fecero screpolare una palla cava di rame, alla cui rottura, secondo Muschenbroek, sarebbe stata necessaria una forza atta a sollevare 27720 libbre. Hugenio ruppe una canna da schioppo otturata con una vite e con piombo fuso; Buot spezzò un cannone che aveva le pareti grosse un dito (3).

696. Questo aumento di volume è in parte cagionato dalle molecole d'aria ospitanti nell'acqua, le quali all'atto della congelazione vengono snidate dagli interstizii ove trovavansi, e radunate in bolle visibili e numerose, rendendo il ghiaccio poroso ed opaco. Ma

(1) Hauy, *Traité élém. de Phys.*, t. I, p. 267.
(2) *Ibid.*
(3) *Ibid.* p. 266.

questa ragione non basta a spiegare del tutto il fenomeno, giacchè anche il ghiaccio somministrato dall'acqua distillata e bollita, benchè privo di pori e trasparente, è sempre più voluminoso dell'acqua da cui trae origine. In pezzi di ghiaccio in fatti perfettamente trasparenti Bellani trovò la gravità specifica 0,922 (*). Il perchè dobbiamo altresì attribuire una parte dell'effetto alla nuova disposizione delle molecole integranti dell'acqua, le quali nel congiungersi per la loro vicendevole attrazione, e nel prendere quelle posizioni che sono richieste dalle leggi della cristallizzazione, si dispongono in un modo da occupare maggiore spazio di prima.

697. A una tendenza verso siffatta disposizione delle molecole attribuiscono alcuni anche la dilatazione che mostra l'acqua nel raffreddarsi al di sotto di +4°,1 C. Credono essi che le particelle acquee sentano questa tendenza fino da quando sono liquide, e comincino fino d'allora ad accostarsi a quelle positure che debbono poi prendere definitivamente nell'assumere lo stato solido (§ 623). E qui noteremo che quando l'acqua si raffredda al di sotto dello 0° senza gelare, ella continua ancora a dilatarsi, ed anzi il fa con una legge più rapida che sopra a 0°, e tanto più rapida quanto più la temperatura si allontana da quella del massimo di densità.

698. Vuol essere qui fatta menzione di un singolare fenomeno il quale sembra in contraddizione con quanto si è, or ora esposto. Stando alle dottrine spiegate si crederebbe che il ghiaccio dovesse cominciar sempre a formarsi alla superficie delle acque, sì perchè l'acqua prossima a gelare è più leggiera di quella che n'è ancora alcun poco lontana, sì perchè il ghiaccio appena

(*) *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1808, p. 414. Possono vedersi altre determinazioni della gravità specifica del ghiaccio nel nuovo *Dizionario Fisico* di Gehler, t. III, p. 113.

formato tende a galleggiare sulla superficie dell' acqua, e sì ancora perchè il freddo penetra nell' acqua dagli strati più superficiali i quali sono i primi a raffreddarsi. Nulladimeno molte volte i fiumi incominciano a gelare sul fondo, e vien poscia il ghiaccio a sollevarsi verso la superficie: il qual fatto, notissimo ne' paesi settentrionali ai pescatori, ai barcajuoli e a tutti quelli che ivi praticano le acque de' fiumi, ed annunciato ai dotti prima da Plot verso il 1700 e quindi da Hales, fu bensì contrastato da Nollet e quasi dimenticato dai Fisici posteriori, ma in questi ultimi tempi per moltissime osservazioni venne posto fuori d' ogni dubbio (*). Non formasi mai questo ghiaccio nei laghi nè negli stagni, ma soltanto nelle acque agitate; e si attacca di preferenza a certi particolari corpi, p. e. al musco, alla canapa, alla lana, e a simili materie filamentose, come pure alla sabbia e alle pietre scabre, e difficilmente a certi altri corpi, quali sono le pietre liscie, i mattoni, la cera, le resine, il legno piallato, ec. Egli è più poroso e più spugnoso dell' altro che formasi alla superficie, rassomigliandosi piuttosto a neve inzuppata d' acqua che a vero ghiaccio; e mostra di essere formato dall' unione di tanti piccoli dischi sottili trasparenti e rotondi, del diametro di circa mezzo pollice, i cui intervalli vanno gradatamente riempiendosi sempre più. Cresciuto poi fino ad un certo punto, e staccato o dal moto dell'acqua o da altre cause, si solleva alla superficie per la specifica sua leggerezza, trasportando seco pietre, erbe acquatiche, talora de' pezzi di ferro caduti, delle gomene perdute, ed altri corpi giacenti sul fondo delle acque, e che attestano in modo irrefragabile la sua origine.

La sua formazione viene al certo occasionata dal movimento delle acque ove esso si forma. Questo movi-

(*) Gehler's *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, art. *Eis*, t. III, p. 127. — *Biblioth. Univ. Sc. et Arts*, t. XXVIII, p. 125.

mento rimescolando l'acqua in mille guise, ne tiene continuamente uniforme la temperatura, mentre questa si va abbassando; e ciò tanto più facilmente in quanto che alle temperature vicine allo zero la densità di questo liquido varia pochissimo, non essendovi da 4°,1 C. fino a 0° che la differenza di circa $^1/_{10000}$. Segue da questo che quando la temperatura degli strati superficiali discende fino a 0°, il che avviene specialmente allo spirare di venti contrarii alla corrente, scende fino a questo punto anche la temperatura dell'acqua che si trova sul fondo. Ora non essendovi corpi solidi alla superficie, non può quivi l'acqua determinarsi subitamente a gelare, come in vece può fare sul fondo ove si trovano corpi a cui possono cominciare ad attaccarsi le molecole del ghiaccio. Venendo perciò l'acqua a perdere ancora qualche poco di calorico, alla superficie continua a rimaner liquida benchè si trovi di qualche piccola frazione di grado sotto a 0° (§ 693), e in vece sul fondo gela; il qual gelo poi somministra il calorico necessario a impedire il troppo raffreddamento degli strati superiori, e a tenerli liquidi. E il ghiaccio va gradatamente crescendo pel continuo contatto delle molecole acquee leggiermente più fredde di 0°, le quali da' movimenti vengono portate al fondo; s'agghiacciano ivi alcune di esse, e risalgono all'alto quelle che lor sono vicine con una temperatura più elevata. È questo un fenomeno affatto simile a quello che avviene nella cristallizzazione dei sali: quando l'acqua ove questi sono sciolti giunge per mezzo dell'evaporazione al punto di saturazione, e quindi incominciano essi sali a cristallizzare, si aumentano di preferenza i cristalli già formati, piuttosto che formarsene de' nuovi; ed anzi finchè nessun cristallo si è ancora formato, può l'acqua divenire alcun poco soprassatura (t. I, § 282).

699. Il mercurio, tutto all'opposto dell'acqua, nel gelare si condensa notabilmente. Il qual fatto ai primi che tentarono la congelazione artificiale di questo liquido

aveva fatto pensare che ella avvenisse a una temperatura assai più bassa di quello che si è poi trovato; perciocchè avendo fatto gelare il mercurio della bolla d'un termometro, osservarono una diminuzione tale di volume, come se, restringendosi uniformemente, si fosse esso raffreddato fino a —300°C. Però Hutchins in una serie di sperienze eseguite alla baja di Hudson giusta le istruzioni dategli da Cavendish (1), avendo tenuto un piccolo termometro dentro una massa di mercurio che esso faceva gelare, trovò che giunto lo strumento a —39°,5C. esso si manteneva costantemente a questa temperatura fino al termine della congelazione del mercurio esteriore; e da ciò si conchiuse esser questo il vero grado a cui questo metallo gela.

700. Il ferro fuso, secondo Réaumur, si comporta in un modo somigliante al ghiaccio, vale a dire si dilata mentre dopo la fusione si solidifica. E così fanno anche il bismuto e l'antimonio (2). L'olio d'uliva in vece si condensa come fa il mercurio. Tutti poi tornano colla fusione a riprendere lo stesso volume che avevano prima di solidificarsi.

701. *Sviluppo di calorico.* Un'altra circostanza generale della solidificazione è il passaggio del calorico da latente a sensibile (§ 457), e la costanza della temperatura della massa liquida dal principio di questo cangiamento di stato in sino al fine. Della qual costanza per rispetto all'acqua e al mercurio abbiamo già parlato più sopra; ora aggiungeremo che Cavendish la verificò anche riguardo allo stagno e al piombo. Per altro ella è cosa di cui è facile il persuadersi da quanto si è detto parlando della fusione (§ 685).

702. *Particolarità di alcune sostanze.* Cominciando dal mercurio, del quale parlavamo or ora, diremo

(1) Biot, *Traité de Physique*, t. I, 208; Haüy, *Traité élém. de Phys.*, t. I, p. 269.

(2) Biot, *Traité* ec., t. I, p. 207. — Gehler's *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, t. III, p. 113.

essersi osservato che nel solidificarsi esso acquista delle proprietà simili a quelle del piombo, prendendo il medesimo aspetto di questo, e cedendo e stendendosi se viene battuto col martello. Toccato colla mano allo stato di solidità produce una sensazione dolorosa simile ad una scottatura, il quale effetto dipende dalla rapidissima sottrazione di calorico che fa il metallo alla mano medesima, a cagione della grande facoltà conduttrice ch' esso possiede. La congelazione di questo metallo era già stata osservata da Gmelin e da Delisle ne' loro termometri esposti ai freddi rigidissimi della Siberia. Ma il primo ad ottenerla artificialmente fu Braun, membro dell'Accademia di Pietroburgo, il quale nel dicembre del 1759, approfittando di un freddo assai rigoroso che allora regnava in quella città e che era di —34°F. (—36° 2/3 C.), giunse a produrla con una mescolanza frigorifica di acido nitrico con ghiaccio pesto, e quindi meglio ancora con acido nitrico e neve. Ora si ottiene facilmente anche fra noi, usando muriato di calce cristallizzato e neve.

703. Il ghiaccio nel raffreddarsi di molti gradi sotto 0°C. acquista una consistenza pari a quella delle pietre. Se n' ha continuamente una prova nelle città marittime del Settentrione, le quali d' inverno tengono mercati e fiere sul ghiaccio di cui è coperto il mare, senza pericolo che questo ghiaccio si rompa benchè talora non abbia molta grossezza. Nella Russia durante la fredda stagione il commercio trae molto profitto dall' agghiacciamento delle acque, non occorrendo allora ponti per passare i fiumi. Nel 1740, essendovi a Pietroburgo un intensissimo freddo, formaronsi quivi de' cannoni di ghiaccio, i quali caricati a palla e quindi sparati, furono capaci di resistere all' esplosione della polvere, essendo questa esplosione di tal forza che potè spingere la detta palla a forar per traverso una tavola della grossezza di due

pollici, in distanza di sessanta passi. Questi cannoni erano collocati in fronte di un magnifico palazzo che erasi fabbricato nel detto anno, pure interamente di ghiaccio.

704. L'acqua che tenga sciolta una certa proporzione di un sale gela più difficilmente, come s'è già detto, di quella pura; quando poi ella arriva a gelare si separa da essa il sale, formandosi il ghiaccio con acqua pura, e divenendo più salsa l'acqua rimanente, e di più difficile agghiacciamento. Sembra però che a temperature molto basse l'acqua salsa possa gelare senza separazione del sale (*). Questa separazione del ghiaccio puro è in un certo aspetto il rovescio della cristallizzazione per mezzo del raffreddamento delle soluzioni (t. I, § 187): in quest'ultima operazione la bassa temperatura fa separare e solidificare il sale sciolto; nel gelarsi in vece dell'acqua salsa è il ghiaccio che si può considerare come sciolto in una soluzione salina, e che dal freddo viene separato e fatto cristallizzare. Approfittano di questa proprietà i popoli settentrionali per facilitare l'estrazione del sal comune dall'acqua marina.

705. Il fosforo benchè si liquefaccia a $+43°$ C., si mantiene liquido ciò nulla meno anche sino a $+40°$, a $+30°$, a $+20°$ ed anche al di sotto; ma toccato allora con qualche corpo solido gela sì prontamente che questo corpo non ha il tempo di penetrarvi; e la temperatura si rialza intanto di 10 a 12 gradi. Talvolta in questa solidificazione istantanea esso prende un colore nerissimo, che però perde liquefacendosi di nuovo, e che di raro si riesce a fargli riprendere in una nuova solidificazione. Si fanno poi queste sperienze sotto l'acqua; altrimenti esso brucerebbe.

706. L'acido solforico, il quale quando è concentratissimo (della gravità specifica 1,842) ha bisogno

(*) Gehler's *Physik. Wörterb. neu bearb.* t. III, p. 141.

per gelare di un freddo di —10° C., o di —12°, e che diluito con molta acqua (la quale però non superi un certo limite) si mantiene liquido ai più forti freddi artificiali, se contiene una tal dose di acqua da renderlo della densità 1,78 gela a parecchi gradi sopra zero.

707. Nella congelazione dell'olio d'oliva succede una specie di decomposizione o di separazione fra le molte sostanze di varia fusibilità che insieme mescolate compongono questo liquido, e delle quali alle basse temperature le meno fusibili si separano dalle altre e passano allo stato solido in forma di globettini opachi sparsi nella parte ancora liquida. E questa separazione non si compie che in un lungo intervallo di tempo dopo che l'olio è disceso fino alla temperatura a ciò conveniente. In sul principio, ancorchè l'olio siasi raffreddato fin sotto a questa temperatura, le molecole delle parti meno fusibili si mantengono ancora sciolte e disperse fra le parti rimanenti di più difficile congelazione, ma a poco a poco se ne separano, s'uniscono fra loro e passano allo stato solido. Più lenta è questa operazione allorquando la temperatura è poco bassa, più pronta quando il liquido si è ridotto più freddo. Di qui è che il grado di temperatura a cui ha luogo la congelazione dell'olio d'oliva è molto incerto, essendo tanto più basso quanto più è rapido il raffreddamento. Il professore Luigi Brugnatelli (*) mette la congelazione di quest'olio fra —2°,5 C. e +3° (fra —2° R. e +2° 1/3 R.). È questa lentezza nell'effettuarsi il cangiamento di stato si osserva anche nella liquefazione dell'olio gelato allorchè si pone questo a una temperatura per pochi gradi più elevata di quella che abbisogna alla congelazione, mostrandosi una certa difficoltà nello sciogliersi di nuovo quelle parti che si erano separate e ridotte solide; di maniera che mettendo l'uno accanto all'altro ad una temperatura fra +5° e +6° C., un bicchiere con dell'olio d'uliva gelato ed un altro con dell'olio della stessa natura ma già stato sciolto, si manterranno in seguito più giorni queste due quantità d'olio l'una allo stato solido e l'altra allo stato liquido.

(*) *Elementi di Chimica*, ediz. I, t. I, p. 69.

In questa lenta decomposizione o separazione però non si altera la natura della sostanza, talchè tornando liquida riacquista le medesime proprietà ch' ella aveva prima di gelare (1).

Ciò che si dice dell' olio d' oliva ha luogo altresì probabilmente in altre sostanze di origine organica, p. e. nella cera; e la discrepanza che esiste fra i diversi autori per riguardo alla fusione di quest' ultima pare che dipenda non tanto dalla diversità intrinseca delle varie cere, quanto dalla proprietà di resistere per un dato tempo alla fusione quantunque la temperatura sia a ciò sufficiente, e fusa che sia di sopportare parimente una temperatura più bassa prima di divenire solida (2).

CAPO XI.

DEL PASSAGGIO DEI CORPI ALLO STATO AERIFORME

Dell' Evaporazione.

708. Il passaggio de' liquidi allo stato aeriforme, detto *Volatilizzazione* o *Vaporizzazione*, quando succede in seno all'aria, si effettua in due modi; l'uno lento detto *Evaporazione* o *Esalazione*, e l'altro rapido appellato *Ebullizione*. Sì nell'un modo però che nell'altro la sostanza aeriforme che si produce è sempre costituita similmente, e si chiama *Vapore*.

Il primo modo, ossia l'evaporazione, è quello che si effettua lentamente e tranquillamente alla superficie de' liquidi alle basse temperature, quando la forza con cui il vapore viene emesso non è valevole a vincere la pressione atmosferica. Tendono in fatti tutti i liquidi

(1) Bellani, nel *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1809, p. 511 e 512.
(2) *Ibid.* p. 528.

in grazia del calorico, cominciando da temperature più o men basse secondo la loro natura, ad emettere o spingere lontano dalla loro superficie le loro particelle più superficiali, con una forza più o men grande, la quale può appellarsi *Forza evaporante* (*). E questa ad una temperatura medesima è diversa dall'un liquido all'altro, e in ciascun liquido cresce con grande rapidità allo elevarsi delle temperature. Però a temperature sufficientemente basse ella è più debole della pressione atmosferica; vale a dire le molecole liquide superficiali sono allora spinte a staccarsi e sollevarsi con una forza minore di quella con cui sono premute contro la massa liquida dalla pressione atmosferica suddetta. Ciò nulla ostante da tutti i punti della superficie del liquido si stacca anche in questo caso una immensa moltitudine di molecole, le quali non potendo rimuovere quelle dell'aria, si insinuano frammezzo ad esse, e secoloro si mescolano; e se l'aria è appena agitata, vengono da essa trasportate altrove, e dall'aria nuova che sottentra ne sono ricevute altre, che pure con essa si mescolano. Ciò è quello che si chiama l'*Evaporazione*.

709. Non evaporano tutti i liquidi colla medesima prontezza, benchè sieno messi nelle medesime circostanze. Se si collocano in più vasi perfettamente uguali degli uguali volumi di mercurio, di acqua, di alcool rettificatissimo, di etere solforico, ec., e quindi si espongono all'aria, procurando che la temperatura dell'ambiente e tutte le altre circostanze siano pari, si trova in capo a qualche tempo che l'etere è tutto evaporato, che

(*) Questo termine venne introdotto nella scienza da Dalton (*Bibl. Brit. Sc. et Arts*, 1802, t. XXI, p. 9), ma piuttosto per significare l'attitudine del liquido a somministrare una maggiore o minor copia di vapore, anzichè per esprimere la causa o la forza risedente nel liquido stesso (per l'azione del calorico) e in grazia di cui esso produce il vapore. Ho creduto utile di adottare un nome anche per questa forza, e mi è parso opportuno lo applicarle il suddetto termine deviandolo alcun poco dal suo primitivo significato.

dell' alcool rimane ancora una parte, che qualche cosa ha perduto anche l' acqua ma molto meno dell' alcool; il mercurio poi non lascia scoprire all' occhio veruna sensibile diminuzione. Si potrà però trovare qualche indizio di evaporazione anche in questo col sospendere delle foglie d' oro in vasi chiusi contenenti del mercurio ed esposti per molti mesi al calore della state, con che si vedrà avvenire un imbiancamento nelle suddette foglie; ma se sarà d' inverno, non riescirà nemmeno questa delicata prova.

In generale i corpi a pari volume e a pari temperatura dell' ambiente, passano tanto più prontamente allo stato aeriforme, ossia sono tanto più *volatili*, quanto più bassa è la temperatura necessaria alla loro ebullizione. Però secondo alcuni autori (i quali a dir vero non so in quale preciso significato prendano il vocabolo *volatilità*) una tal legge ha qualche eccezione (1).

710. L' evaporazione non è propria de' soli liquidi, succedendo anche in diverse sostanze solide che possono immediatamente divenire aeriformi senza passare per lo stato di liquidità; nel qual caso il fenomeno si suole altresì chiamare *Sublimazione*. La canfora, l'arsenico, l'iodio, l'acido benzoico sono di questo numero; in generale le sostanze odorose, molte delle quali sono allo stato solido, si credono possedere una tale qualità in conseguenza di una insensibile volatilizzazione di particelle che si spargono per l'aria, e che sono atte a ferire l' organo dell' odorato (certe sostanze odorose però secondo alcuni non fanno altro che determinare nell' aria una particolar modificazione, p. e. una chimica combinazione de' suoi principii, come si è accennato al § 27 (2)). Il ghiaccio medesimo stando lungamente esposto all' aria libera a temperature molto più

(1) *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1816, p. 251.
(2) V. l' *Encyclop. Méthod., Physique*, t. IV, p. 145, art. *Musc.*

basse di 0°R., scema insensibilmente di peso e in fine svanisce.

711. L'evaporazione di un liquido può venire accelerata o ritardata da diverse circostanze, le quali si possono ridurre alle seguenti: la temperatura del liquido, la rarezza dell'aria, l'umidità di questa, la rinnovazione della stessa, la grandezza della superficie evaporante.

Cominciando dalla temperatura, egli è noto come posta una piccola massa d'acqua sopra di un corpo, quanto più questo è caldo, tanto più prestamente ella evapora e scompare; è notissimo come le biancherie si asciughino più presto d'estate, e come appressando al fuoco un corpo bagnato prontamente si asciughi. A temperature molto elevate evapora abbondantemente anche il mercurio; mentre alle temperature ordinarie non mostra che una evaporazione leggerissima. La ragione di questo sta nell'essere la forza evaporante dei liquidi tanto più grande quanto più elevata è la loro temperatura (Vedremo più innanzi, § 754, come si misuri questa forza evaporante e quale sia la sua grandezza alle diverse temperature).

L'influenza di questa temperatura è tale, che allorquando ella è molto bassa alcuni liquidi, p. e. il mercurio, non mostrano più evaporazione sensibile. E anzi il sig. Faraday opina (*) che l'evaporazione dei corpi abbia un assoluto limite, e che questo abbia luogo a quel grado di temperatura a cui la forza evaporante è in equilibrio coll'attrazione esercitata dalla massa del corpo che dovrebbe evaporare, verso le sue particelle più superficiali; perciocchè una debolissima forza attrattiva, almeno quella di gravitazione, esiste sempre alla superficie di ciascun corpo, cercando di ritenere le molecole che per l'azione del calorico possono aver tendenza a staccarsene. E questo limite per alcuni corpi

(*) *Bibl. Univ. Sc. et Arts*, anno 1826, t. XXXIII, p. 290.

sembra essere inferiore al punto della solidificazione come nel ghiaccio, e in alcuni superiore come nel mercurio.

Quella però che veramente influisce nella evaporazione si è la temperatura che ha il liquido alla sua superficie; perocchè se operando in qualche modo si conserva costante questa temperatura in mezzo alle variazioni a cui può andare soggetta quella dell'aria ambiente, non si trova che il riscaldamento di quest'aria giovi punto ad affrettare l'evaporazione. Anzi se si tratta dell'evaporazione dell'acqua, siccome in generale, quanto più l'aria è calda tanto maggiore quantità di vapori acquei suole essa contenere, così una medesima massa d'acqua che in tutti i casi abbia la superficie ad una stessa temperatura può, per la circostanza della maggiore umidità, evaporare più lentamente nell'aria calda che nella fredda (*).

712. Quanto più l'aria è rara, tanto più abbondantemente e prestamente evaporano i liquidi; al certo perchè quando l'aria è meno densa, le molecole vaporose sono meno impedite da quelle dell'aria medesima, e trovano più facilmente il modo di insinuarvisi. N'abbiamo una prova nella congelazione dell'acqua col metodo di Leslie (§ 462), dove si vede essere prontissima l'evaporazione nell'aria molto rarefatta ossia nel voto pneumatico.

713. Se nell'aria si contenga di già una qualche specie di vapore, questo fa ostacolo alla introduzione di una nuova quantità di vapore della stessa natura. Noi veggiamo che quando l'aria è carica di umidità ossia di vapore acqueo, difficilmente i corpi possono diseccarsi, e una piccola massa d'acqua può rimanere lunghissimo tempo senza ascingarsi. Quando noi o per

(*) V. il quarto articolo delle *Riflessioni critiche sull'evaporazione* del Can. Bellani, nel *Giornale di Fisica* di Pavia, 1816, p. 197.

fatica fatta o per elevata temperatura ci troviamo in abbondante traspirazione, sappiamo che se l'aria è secca ed agitata, questa traspirazione giunta alla cute evapora prontamente, e dissipa una grande quantità di calorico; ma se l'aria è umida e tranquilla, come ne' luoghi chiusi ed affollati di gente, questa traspirazione rimane liquida sulla cute e noi ci troviamo oppressi da un calore affannoso e inzuppati di sudore, il quale oltre al non poter evaporare viene da questo stesso calore vie maggiormente promosso (§ 592). E in fatti entro una data capacità e ad una data temperatura non può contenersi (come proveremo più innanzi) oltre ad una determinata quantità di un dato vapore; quando vi si trovi questa quantità, il vapore già esistente impedisce assolutamente una nuova introduzione della medesima specie di vapore. Ora un tale impedimento ha luogo in parte anche allorquando questo vapore è al di sotto della quantità necessaria alla saturazione, e fa che l'evaporazione sia più difficile che quando non vi ha di quel vapore, come i fatti accennati mostrano.

Secondo le sperienze di Dalton a pari circostanze, cioè a parità di pressione, di agitazione d'aria, ec., la quantità di vapore che può esalare in un dato tempo da una superficie data è in ragione *della differenza fra la forza evaporante del liquido e la forza espansiva del vapore esistente nell'aria*, intendendo di parlare di quella forza espansiva che avrebbe questo vapore se fosse solo in quello spazio (*).

Il vapore però di una sostanza non si oppone alla evaporazione di un'altra se non nel modo che fa l'aria asciutta, producendo cioè solamente del ritardo, ma non un assoluto impedimento. Così se l'aria è satura di vapore acqueo, è ancora permessa l'evaporazione dell'alcool e dell'etere nel modo stesso come se l'aria medesima fosse asciutta.

(*) *Biblioth. Brit. Sc. et Arts*, t. XXI, p. 12.

Essendosi in un medesimo giorno e ad una stessa temperatura e pressione atmosferica, collocati in una camera asciutta e non ventilata due uguali recipienti aperti e contenenti l' uno dell' acqua e l' altro dell' alcool, e trasportati due altri consimili vasi in altra camera che serviva di cantina e che era sempre conservata al massimo di umidità, dopo più ore di evaporazione si trovò che le quantità di alcool evaporate ne' due diversi ambienti furono uguali; e si noti che per antecedenti sperienze si era trovato che quei medesimi due recipienti pieni di alcool perdevano l'egual peso in egual tempo collocati l' uno accanto all' altro: l' acqua in vece si comportò ne' due ambienti molto diversamente, non avendo mostrato nessuna diminuzione di peso nella cantina, ed avendone sofferta una sensibile nella camera asciutta (*).

Solamente ne' liquidi assai evaporabili, come sono appunto l'alcool e l'etere, non si può avere quel grado di raffreddamento che si otterrebbe facendo evaporare questi liquidi nell'aria asciutta; perocchè giunto il freddo a un certo punto si depone sulla superficie del liquido evaporante un po' di vapore acqueo che rende libera una certa quantità di calorico. E questo vapore acqueo deposto e questo calorico reso libero possono forse avere qualche influenza sull' evaporazione de' suddetti liquidi; ma intorno a ciò converrà consultare la sperienza.

714. L' agitazione favorisce l' evaporazione col trasportare lontana dalla superficie del liquido, o in genere del corpo evaporante, quell'aria che è già molto imbevuta del suo vapore e che difficilmente ne potrebbe ricevere del nuovo, lasciandone in vece sottentrare dell' altra che ne contien meno e che può accoglierne una nuova quantità. Ognun sa che i corpi bagnati si asciugano molto più presto ne' tempi ventosi che nei tranquilli. E il ventaglio ci rinfresca non solamente col

(*) Bellani nel *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1816, p. 255.

portare a contatto della cute una massa d'aria più fredda della cute medesima, ma altresì promovendo l'evaporazione del sudore col rinnovamento dell'aria stessa.

715. In fine l'evaporazione è evidentemente ajutata anche dalla maggiore grandezza della superficie evaporante, la quale accresce il numero de' punti pe' quali succede l'emissione del vapore. Evapora quindi abbondantemente l'acqua quando inzuppa una spugna, o altro corpo assai poroso e irregolare, stante che questo colle sue irregolarità presenta all'aria una grande superficie che ripiegata in varii modi sta raccolta in breve spazio. E tutti sanno quanto più prontamente s'asciughi una stoffa essendo distesa che essendo piegata a più doppii. La quantità poi del vapore emesso in un dato tempo, trattandosi di piccoli vasi, è nella precisa ragione della superficie; a doppia superficie questa quantità è grande il doppio, a tripla superficie è il triplo, ec., come fu osservato da Lambert (1). Ma quando si tratti di vasi amplissimi, come di stagni o di laghi, sembra che questa proporzionalità non regga più, e che a doppia superficie l'evaporazione sia meno che doppia, a tripla superficie meno che tripla (2). Perciocchè egli è ben vero che dividendo la doppia superficie in due parti uguali e allontanando queste l'una dall'altra, si avrebbe fra tutte e due il doppio di evaporazione che se si avesse una sola di queste parti; ma non succede lo stesso se le due superficie si tengono vicine, poichè l'aria umida che movendosi abbandona una delle due mezze superficie, non viene interamente supplita da aria asciutta, ma in parte il viene

(1) Saussure, *Hygrométrie*, § 246.

(2) Sédileau crede che questa eccezione abbia luogo anche ne' vasi poco grandi, assicurando che l'acqua svapora in proporzione più ne' vasi piccoli che nei grandi (Cotte, *Traité de Météorologie*, p. 318, citato nel *Giornale di Fisica di Pavia*, 1816, p. 188).

da aria che ha abbandonata l'altra metà, e così la vicinanza delle due superficie liquide rallenta il fenomeno.

716. Queste cose si possono dimostrare per mezzo dell'*Atmidometro*, strumento immaginato già dal cavaliere Landriani e perfezionato poscia dal Bellani (*), e il quale serve appunto a misurare la prontezza dell'evaporazione. È questo formato (vedi la fig. 18) da un recipiente di lamina di ottone fatto a cono col vertice all'ingiù e coperto superiormente d'uno strato di terra calcare molto porosa; da un fianco gli sta unito un tubo orizzontale di vetro munito di scala graduata e comunicante colla interna capacità di esso cono; e dall'altro lato vi ha una cannetta verticale, similmente di lamina di ottone, formata superiormente a imbuto, e che mediante il giuoco di una chiave si può all'uopo far comunicare coll'interno del recipiente. Per mezzo di questa cannetta si riempie tanto il vaso quanto il tubo di vetro con dell'acqua, fino a che se ne imbeva anche il coperchio poroso; e quindi chiusa colla chiave la comunicazione fra il vaso e la cannetta, si lascia lo strumento a sè. Ne succede che alla esterna superficie dello strato terreo viene l'acqua gradatamente a evaporare; e siccome l'azione capillare ne va intanto innalzando della nuova in luogo di quella mancata, così viene a ritirarsi verso il vaso quella che sta nel tubo di vetro; e il numero de' gradi de' quali questa si ritira mostra la quantità dell'evaporazione dentro un dato tempo, p. e. in un minuto primo.

Volendo vedere l'uso di questo strumento, si comincia a metterlo in una stanza ventilata, tenendone lontano ogni corpo bagnato, e si misura quanto sia veloce l'evaporazione. Si scalda quindi esso strumento, e si trova che l'evaporazione diviene più pronta; si toglie in seguito la ventilazione, e l'evaporazione si

(*) *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1820, p. 166.

rallenta; si sottopone allo strumento un pannilino bagnato, e si trova che anche con ciò l'effetto si rallenta.

Serve al medesimo oggetto un altro ingegnoso strumento immaginato da Leslie e da lui appellato *Atmometro*. Consiste esso in una sfera cava di terra cotta porosa, del diametro di due a tre pollici, con uno stretto collare al quale sta saldato con mastice un lungo tubo di vetro di diametro piuttosto largo; è munito questo tubo d'una scala su cui stanno segnate da 100 a 200 divisioni, ciascuna delle quali corrisponde ad una colonna liquida bastevole a ricoprire la intera superficie della bolla d'uno strato liquido alto $^1/_{1000}$ di pollice; e superiormente questo tubo è chiuso con un turacciolo, il quale gli si adatta dopo che esso tubo e la bolla sono stati riempiuti d'acqua distillata. Lo strumento così preparato viene esposto all'aria libera colla bolla all'ingiù. L'acqua, a proporzione che trasuda dai pori dell'inviluppo, viene dissipata dall'evaporazione, e la rapidità maggiore o minore con cui ella se ne fugge in istato aeriforme secondo le diverse circostanze, viene indicata dall'abbassamento del liquido nel tubo: perciocchè si osserva la singolarità, che attraverso all'inviluppo si fa uno scambio di acqua che esce, e di aria che entra in direzione contraria e che va ad occupare alla sommità del tubo lo spazio abbandonato dal liquido. In un'aria tranquilla lo strumento cammina più o meno celeremente secondo che l'aria è più o meno secca, e può per conseguenza far l'ufficio d'indicatore dell'umidità. Durante una giornata d'inverno lo strato d'acqua evaporato non è che di circa 0,018 di pollice di grossezza; in una giornata d'estate in vece esso è di circa 0,048. I venti accelerano più o meno questo effetto secondo la loro forza, e il rendono talora quintuplo ed anche decuplo di quello che esso è nell'aria tranquilla (*).

(*) *Bibl. Brit. Sciences et Arts*, t. LVI, p. 16.

Dell' Ebullizione.

717. Crescendo la forza evaporante di un liquido qualsivoglia a proporzione che se ne eleva la temperatura, giunge in fine essa forza ad uguagliare e a vincere la pressione atmosferica. A questo punto la formazione del vapore non è più tranquilla e semplicemente superficiale, ma si effettua anche in sul fondo del vaso e alle sue pareti, con produzione di bolle e movimento di tutta la massa: dicesi in questo caso che il liquido *bolle*; e questo agitato e rapido passaggio allo stato aeriforme si appella *Ebullizione.*

718. *Modo d' ebullizione dell' acqua.* Esaminando passo passo il fenomeno nell' acqua (al quale oggetto serve assai comodamente l' uso di un vaso di vetro riscaldato da una lucerna a spirito di vino), noi osserviamo primieramente che quando questa è già alquanto calda, cominciano a svilupparsi delle bolle d' aria sul fondo del vaso e accanto alle pareti, standovi però attaccate nel modo che fanno le goccie di rugiada sulla superficie delle erbe; e sono di quell' aria che prima si trovava sparsa o sciolta fra le molecole dell' acqua (*).

L'aria ospitante nell'acqua (e lo stesso dicasi degli altri fluidi aeriformi disseminati ne' liquidi) si dee, a nostro giudicio, riguardare come sciolta in quest'acqua e ridotta anch'essa allo stato liquido o formante coll'acqua medesima una chimica mescolanza affatto liquida, precisamente nel modo che anche l' acqua sta sciolta e chimicamente mescolata coll' acido solforico, quando questo è con essa allungato. Alle temperature in fatti superiori a + 100° C. e sotto le ordinarie pressioni dell'atmosfera, l'acqua che da sè sola avrebbe lo stato aeriforme, in unione coll'acido forma un composto affatto liquido, il quale non differisce essenzialmente da ciò

(*) Volume I, § 33 e 263.

ch'esso sarebbe (sempre sotto l'ordinaria pressione atmosferica) alle temperature inferiori a +100°, a quelle cioè a cui l'acqua da sola sarebbe liquida.

Ciò posto, siccome allo elevarsi della temperatura diminuisce l'affinità dell'acqua verso l'aria in essa ospitante, e nello stesso tempo s'aumenta la tendenza di quest'aria ad espandersi, la quale tendenza è in opposizione colla suddetta attrazione e dev'essere vinta perchè essa aria rimanga disseminata nel liquido, così per un tale elevamento della temperatura una parte della suddetta aria tende a svolgersi e a riprendere lo stato aeriforme; e questo ella il fa di preferenza alla sua superficie libera e al contatto de' corpi solidi, anzichè nel mezzo della massa liquida (*). Il fa ella di preferenza alla superficie libera del liquido anzichè nel mezzo della massa, per la ragione che in mezzo alla massa le molecole aeree si trovano cinte e imprigionate tutto all'intorno dall'acqua, e perciò, o in forza di una più efficace attrazione verso di questa o anche per la coesione delle parti di essa, cotali molecole aeree sono ritenute con maggior forza a' loro posti che non quando esse si trovano alla superficie libera del liquido, alla qual superficie non sono esse molecole ritenute che da un sol lato e nel separarsi dall'acqua non hanno a vincere la coesione delle parti di questa e forse anche sentono più debolmente la sua attrazione. Avviene presso a poco lo stesso come allorquando viene esposto l'acido solforico allungato a temperature elevate, sieno queste inferiori a +100°C., o sieno anche superiori, purchè non arrivino al punto d'ebullizione del liquido (al qual punto e alle temperature ulteriori io non intendo qui di estendere il mio ragionamento): l'acqua in fatti che si contiene in questo liquido e che all'anzidetta temperatura si separa da esso fino ad un certo punto, non si sviluppa dal mezzo della massa ma evapora alla sua superficie libera, e ciò per la medesima causa, cioè perchè

(*) Bellani nel *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1809, a p. 419, e 422 nella nota. I passi che qui si citano formano parte di una importante memoria che questo illustre Fisico pubblicò sulla ebullizione de' liquidi, e dalla quale io presi la più parte delle cose che io qui espongo su questo soggetto.

alla superficie suddetta l'acido ritiene le dette molecole soltanto da un lato, laddove nel mezzo della massa esso le cinge e le arresta tutto all'intorno.

La separazione e lo svolgimento dell'aria si fa eziandio piuttosto al contatto de' corpi solidi, specialmente porosi, che non nel mezzo dell'acqua; e questo o perchè alla superficie di essi si trovano delle scabrezze e de' piccolissimi vani, entro a' quali l'aria ha luogo di gettarsi, evaporando, direi quasi, come essa aria fa alla superficie libera, ovvero anche perchè que' solidi hanno per avventura poca attrazione coll'acqua, e così le molecole aeree nello svincolarsi da quest'acqua non hanno ivi a vincere, per farsi spazio, una sì forte resistenza nell'adesione fra essa acqua e il solido quale esse avrebbero a superare in mezzo alla massa liquida per parte della coesione delle parti di questa massa medesima. E di una tale preferenza de' gas sciolti ne' liquidi a svilupparsi accanto ai solidi n'abbiamo altri esempii, p. e. nel separarsi dell'acido carbonico dai vini generosi allo immergervi qualche corpo poroso (1), veggendosi al contatto di questi solidi una effervescenza o rapida formazione di numerose bollicine, le quali immediatamente cessano al ritirarsi del solido. Bellani ha eziandio osservato, che facendo scaldare dell'acqua coperta d'uno strato d'olio, si sviluppano delle bolle aeree anche fra l'acqua e l'olio, ed anzi si sviluppano a preferenza fra tali due liquidi che alle pareti del vaso (2), il che egli l'attribuisce appunto alla debole attrazione vicendevole de' due liquidi.

Quest'aria ospitante però non si sviluppa che in parte se il riscaldamento è minore de' +100° C., probabilmente perchè si fa più forte l'attrazione ch'essa aria sente dall'acqua col diminuire della quantità che in essa acqua si trova disseminata.

Quando adunque per lo innalzarsi della temperatura diminuisce nell'acqua l'attitudine a tenere sciolte cotali molecole aeree, la prima separazione che di esse avviene al di sotto della superficie libera si fa in contatto delle pareti

(1) Gay-Lussac negli *Annales de Chimie et de Phys.* t. VII, p. 312.

(2) *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1809, p. 427.

del vaso; quivi perciò si cominciano a formare delle minime e invisibili bollicine, le quali (in un modo analogo a ciò che si osserva in certi fenomeni capillari di cui si è parlato nel tomo I, a' § 222, 228 e 230) hanno difficoltà a smoversi dalle loro posizioni, e stanno ivi ferme e aderenti. L'acqua poi, la quale ne' continui movimenti prodotti dalle differenze di temperatura e da altre cagioni va scambiandosi incessantemente accanto a queste bollicine, porta del continuo presso di esse delle parti liquide soprassature di aria, e lascia che si svolgano continuamente nuove molecole di questa entro ad esse bolle e ne aumentino a poco a poco il volume; il qual volume viene altresì accresciuto dal vapore acqueo che vi si introduce, e la cui proporzione rispetto all'aria delle bolle si fa tanto maggiore quanto più alta è la temperatura. Cresciute poi queste bolle oltre ad un certo segno; per la loro leggerezza specifica si staccano e salgono a galla.

Osserveremo qui che quando i liquidi contengono una sostanza aeriforme in maggiore quantità di quello che la temperatura e la pressione esteriore concederebbero, rimanendovi essa nulla di meno disseminata per la coesione delle parti del liquido, può di tale sostanza aeriforme venire svolta una porzione anche senza riscaldamento, cioè o agitando il liquido, ovvero imprimendogli un qualche urto il quale comunicando alle molecole liquide un movimento intestino ne scuota e ne sviluppi le molecole del gas (*). Se si riempie di alcool non bollito un recipiente termometrico a grossa bolla, e quindi si chiude ermeticamente coll'esclusione dell'aria dal tubo, si osserva che dopo essersi ritirato il liquido, in conseguenza del raffreddamento, da molta parte del tubo stesso, con alcuni colpi che si diano allo strumento si svolgono nel bulbo delle minime bollicine d'aria: si veggono queste sparse come una piccola nube, innalzandosi rapidamente e crescendo ciascuna durante la salita, e riunendosi quindi insieme all'alto del bulbo; e ciò per più colpi che si diano successivamente.

719. Staccatesi queste bollicine, e salita la tempe-

(*) Bellani nel *Giornale di Fisica di Pavia*, an. 1809, p. 422; Gay-Lussac negli *Annal. de Chimie et de Phyiq.* t. VII, p. 312.

lacca. Se poi si lascia cadere nel recipiente un pizzico di limatura di qualche metallo, cessa lo sviluppo del vapore anche in cotale cera lacca, e si trasporta sul fondo ove si trova la limatura, effettuandosi ivi esso tranquillamente e senza strepito con formazione di bolle frequenti e minute, e tenendosi la temperatura presso a due gradi centigradi più bassa che quando l'acqua bolle nel vetro da sè sola.

La cagione che assegna di ciò il Bellani sta nel principio già posto da Deluc, e quindi dal medesimo Bellani adottato e con solide ragioni confermato, cioè che la riduzione dell'acqua in vapore non si effettua che alla superficie della massa acquea, ossia dove è interrotta la continuità del liquido, sia che questa interruzione abbia luogo alla superficie esterna della massa d'acqua, sia ch'ella si trovi internamente alla massa medesima per bollicine che separino alcun poco le parti dell'acqua (e forse altresì per semplici molecole d'aria disseminate), sia anche che una tale interruzione si riscontri in contatto di corpi solidi scabri e porosi alle cui superficie vi sieno de' vani non occupati da acqua ma forse da aria, sia finalmente ch'ella esista in contatto di corpi anche lisci da cui l'acqua rimanga staccata o per un velo aereo aderente o per debolezza di attrazione: in mancanza di una tale interruzione la coesione delle molecole acquee e la loro adesione colle pareti si oppone possentemente al loro vicendevole distacco, e per essere vinta esige una temperatura molto superiore a quella de' 100 gradi sopra lo zero de' nostri termometri centigradi.

Ciò posto, se avendosi dell'acqua riscaldata fino ad un certo punto verrà immerso in essa qualche corpo solido che le presenti uno spazio vano o *camera* occupato da sola aria, entro a questo spazio, in grazia della forza evaporante dell'acqua, verranno lanciate le une dopo le altre delle molecole di vapor acqueo; nè questa introduzione successiva avrà termine, stando quella temperatura dell'acqua, se non allorquando la forza espansiva del vapore introdottosi (quella cioè che avrebbe il vapore medesimo se fosse solo nello spazio, senza mistura d'aria) sarà divenuta

uguale alla forza evaporante; del che darem ragione nelle dottrine de' vapori misti co' gas (§ 773 e 774). E il volume della piccola massa aeriforme contenuta nello spazio vano si allargherà sino a tanto che la detta forza espansiva acquistata dal vapore aggiunta a quella propria dell'aria (a quella cioè che l'aria contenuta in essa massa aeriforme possederebbe se fosse sola nello stesso spazio e alla stessa temperatura) facciano una somma uguale alla pressione atmosferica (Vedi più sotto al § 778). A tutto rigore però converrà computare insieme con questa pressione atmosferica anche quella poca pressione che nasce dal peso del liquido sovrapposto, in ragione dell'altezza della superficie di livello al di sopra della menzionata massa aeriforme; come pure, se il liquido al contatto di questa massa avrà concava la superficie, si dovrà aggiungere il piccolo effetto della capillarità, tendendo anche questa a stringere la massa aeriforme medesima; dovrà in vece quest'ultimo effetto venire sottratto, se mai avverrà che il liquido presenti una superficie convessa: e sarà l'aggregato di queste due forze e inoltre della pressione atmosferica quello con cui dovrà ridursi all'equilibrio la combinata forza espansiva dell'aria e del vapore acqueo componenti la massa aeriforme più volte menzionata. Allorquando però il liquido non è profondo che di qualche pollice, e insieme il raggio di curvatura della superficie dell'acqua in contatto del mescuglio aeriforme non è d'una piccolezza microscopica, queste nuove forze che cooperano colla pressione atmosferica, non arrivano sì l'una che l'altra che ad uguagliare la pressione di qualche linea di mercurio.

Aumentandosi la temperatura dell'acqua e con essa la sua forza evaporante, si introdurrà una nuova quantità di vapore nello spazio vano precedentemente considerato, supposto che il corpo solido continui a rimanervi immerso; e il miscuglio aeriforme si aumenterà ancora di volume, fino a tal punto cioè che all'aria rimanga soltanto tanta forza espansiva che aggiunta a quella cresciuta del vapore facciano equilibrio fra tutte e due alla pressione atmosferica combinata colle altre due nominate forze.

Allorquando poi l'acqua col successivo riscaldarsi sarà arrivata al segno che la sua forza evaporante uguagli o su-

peri di un minimo grado la pressione dell'atmosfera, con aggiunte le dette due piccole forze, in questo caso il volume della mescolanza aeriforme si aumenterà illimitatamente; perciocchè a qualunque grandezza esso giunga, la forza espansiva del vapore contenuto congiunta colla forza espansiva dell'aria che vi è mescolata, quantunque questa sia ridotta rarissima, verrà sempre a superare la pressione dell'atmosfera aumentata come si è detto, e quindi farà rimuovere indefinitamente l'acqua circostante da cui il vapore viene introdotto, la quale acqua intanto continuerà a somministrare nuovo vapore alla massa aeriforme, e ne terrà sempre la totale forza espansiva leggiermente superiore alla pressione atmosferica. Cresciuto il volume di questa massa aeriforme oltre ad un certo punto, non potrà più essa rimaner contenuta nella menzionata cavità del corpo solido, ma se ne staccherà in una bolla la quale per la sua leggierezza specifica salirà a galla del liquido e scoppierà; ne verrà però lasciato un residuo ove potrà venire introdotto nuovo vapore per dare origine nel medesimo modo a una seconda bolla, a cui ne seguirà una terza, quindi una quarta, e così indefinitamente.

Una tale maniera di formazione delle bolle vaporose vien resa sensibile dalla seguente sperienza di Bellani (*). Prese egli un corto tubo di vetro aperto da una sola estremità e saldato dall'altra con un altro tubo pur di vetro, e lo introdusse colla bocca all'ingiù e non d'altro ripieno che di aria, entro ad una piccola massa d'acqua mantenuta bollente dentro ad un recipiente di vetro, tenendolo in mano pel tubo aggiunto. Appena che questo tubo fu immerso vide scaturirne per di sotto copiosissime bolle (che in sul principio erano di aria mista con vapore e quindi erano formate quasi di solo vapore) e seguirsi queste l'una l'altra per un tempo indeterminato; ed anzi facendosi cessare lentamente l'ebullizione, cominciavano a mancare per le prime quelle bolle che s'innalzavano dal fondo del recipiente, e le ultime che comparivano nel liquido uscivano dal cilindro immerso, continuando sino a tanto che, scemata ancora la temperatura, questo cilindro

(*) *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1809, p. 437.

si riempiva all'istante di acqua, non rimanendovi che una bollicina d'aria quasi invisibile. Se si tornava ad aumentare di una piccola frazione di grado la temperatura, esso cilindro immerso si riempiva nuovamente di vapore, e ne tramandava del continuo in qualunque sito si trasportasse nell' interno dell'acqua. Che se esso cilindro fosse prima venuto a riempirsi interamente di acqua, qualunque minima bolla d'aria o di vapore che staccatasi dal fondo vi si fosse insinuata e fermata, diveniva nuovamente da quel momento una fonte inesausta di bolle vaporose finchè durava la necessaria temperatura.

Se in luogo di un corpo solido che abbia una cavità unica noi immergiamo nell'acqua bollente un corpo poroso, un corpo cioè che abbia un grandissimo numero di cavità, ha luogo anche per questo tutto quello che abbiamo or ora esposto, ma però in un gran numero di punti, e perciò si ha la formazione di quelle numerose bolle che abbiamo già dette. Sono poi copiosissime queste bolle nella prima immersione del corpo, supposto che l'acqua bolla in un vaso di vetro, perchè allora l'acqua contigua ad esso corpo immerso è sì calda che la corrispondente forza evaporante supera d'alquanto la pressione atmosferica coll'aggiunta anche delle altre due forze cooperanti; riesce quindi rapidissima la formazione delle bolle e tumultuosa l'ebullizione; al che contribuisce altresì l'aria che si annida ne' pori del corpo e che dal calore vien dilatata e sloggiata. Siccome poi in questa rapida ebullizione si rende latente molto più calorico di quello che l'acqua riceva dal fuoco applicato sotto al vaso, così la temperatura di quest'acqua discende alquanto, e l'ebullizione si rallenta nel progresso alcun poco, concorrendo a un tale rallentamento anche la diminuzione dell'aria contenuta ne' pori del corpo; e questo rallentamento va in sino a quel punto a cui il diminuito passaggio del calorico da sensibile a latente arriva a poter essere risarcito dal calorico somministrato continuamente dal fuoco. Ed è appunto un cotale abbassamento di temperatura quello che all'introdursi de' corpi porosi nell'acqua bollente fa cessare la formazione delle bolle al fondo del vaso di vetro. Egli è d'uopo in fatti che in esso fondo questa temperatura sia di qualche frazione di grado o anche di qualche grado

centigrado più elevata, perchè ivi scaturiscano esse bolle; e ciò parte per la maggior pressione che il liquido soffre sul fondo del vaso dal proprio peso, parte perchè esso liquido ha maggior adesione col fondo suddetto che è di vetro che non colla superficie del corpo poroso, e parte forse per la mancanza o per la maggior piccolezza di que' vani o camere ove possa gettarsi il vapore; e quantunque la temperatura, anche dopo l'introduzione de' corpi porosi, sia effettivamente alcun poco più elevata in sul fondo che altrove, pure, essendosi in grazia di questi abbassata alcun poco, ella non basta più a determinare la formazione delle bolle vaporose.

Abbiamo detto che i fili metallici e più ancora i corpi resinosi immersi nell'acqua bollente si comportano alla maniera de' corpi porosi, determinando l'ebullizione sulla propria superficie, e facendo abbassare la temperatura del liquido. Il Bellani crede che ciò avvenga perchè i metalli e le sostanze resinose suddette abbiano coll'acqua meno attrazione che il vetro, ed opina che le molecole aeree disseminate nell'acqua vengano determinate a concorrere là ove l'acqua ha minore adesione coi corpi, e che colla interruzione ch'esse vengono a produrre fra l'acqua e i corpi metallici o resinosi suddetti, agevolino la formazione del vapore, potendo poi anche in seguito esse molecole d'aria e di vapore formato rimanere aderenti in parte ai detti corpi, e dar origine al continuato efflusso del vapore medesimo (1). Osserva poi il Bellani che un filo di ferro collo star lungo tempo nell'acqua bollente cessa finalmente dal mandare quelle bolle, non comparendo più queste nè sulla punta nè in altri luoghi del filo, ma ricomparendo però di nuovo se si taglia l'estremità del filo medesimo e lo si rimette nell'acqua; e ciò secondo lui addiviene perchè il filo dimorando nell'acqua si ossida alla superficie, e con ciò acquista maggiore affinità col liquido, e si rende più difficile a lasciare staccar l'acqua, e a permettere la formazione delle bolle; e in fatti il ferro ossidato si cava dall'acqua bagnato, laddove un pezzo d'acciajo lucido e terso si estrae asciutto (2).

(1) *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1809, p. 438.
(2) *Ibid.* p. 439.

Le limature metalliche producono a preferenza le bolle, che non i fili immersi o la cera lacca che imbratti questi, per la ragione che esse limature inceppano l'acqua che si trova sul fondo del vaso e le fanno ivi prendere una temperatura più elevata di quella al contatto de' suddetti fili; e poca differenza di temperatura basta per determinare di preferenza lo svolgimento delle bolle al contatto di esse limature, essendo anche queste di natura metallica, e poco essendo l'impedimento prodotto dalla maggior pressione del liquido in sul fondo.

Analogo al precedente è quest'altro fatto, che su di un filo metallico posto nell'acqua bollente non si svolge vapore se quest'acqua vien fatta bollire in un vaso di questo metallo medesimo (*). In questo caso le bolle scaturiscono dal fondo del vaso dove è più elevata la temperatura, non concorrendo la natura chimica del vaso stesso a ritardare l'ebullizione al suo contatto, e bastando una piccola differenza di temperatura a superare l'effetto della maggior pressione.

Il vetro, probabilmente perchè egli ha, come si è detto, più attrazione coll'acqua che non i metalli e le sostanze resinose, è meno atto di questi alla produzione delle bolle vaporose. Immergendo perciò de' bastoncini di vetro nel matraccio dell'acqua bollente poc'anzi considerato, non si determina punto su di essi lo sviluppo di queste bolle. E questo dà altresì ragione perchè in un vaso di vetro ove non si sieno introdotti corpi stranieri che facilitino l'ebullizione, l'acqua si porti a più elevata temperatura prima di bollire; e altresì perchè all'introdursi de' detti corpi, l'ebullizione cessi al fondo del vaso di vetro, e si trasporti in vece alla superficie di que' corpi con abbassamento di temperatura. Che poi ne' vasi di vetro le bolle scaturiscano a preferenza da certi punti particolari, come avevano già notato Carradori e Guyton, lo si può attribuire o al trovarsi in que' punti delle sostanze eterogenee da cui l'ebullizione venga agevolata, o anche, come il Bellani dubita, al trovarsi quivi l'acqua annicchiata e trattenuta entro a cavità ove sia investita contemporaneamente da molte parti dal calorico vaporizzante. E a una somigliante causa sembra do-

(*) *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1809, p. 439.

vuto il fatto che lasciando cadere sul fondo del matraccio de' minuzzoli di vetro, le bolle scaturiscono a preferenza di sotto a questi (1); l'acqua vien qui trattenuta dal salire ed obbligata a scaldarsi più che negli altri punti, e a entrare perciò più facilmente in ebullizione.

721. Dalle cose dette si deduce che il grado di temperatura necessario all'ebullizione dell'acqua e in genere de' liquidi può notabilmente variare secondo la natura del vaso. La qual cosa, stata primieramente avvertita dal Bellani (2), venne poscia confermata da Gay-Lussac (3) e da altri. I vasi ove più presto l'acqua bolle sono i metallici e quelli ove si contengono corpi porosi, quali sarebbero de' pezzi di pomice; in questi si nota altresì che l'ebullizione si fa con poco strepito e con bolle numerose ma piccole: que' di vetro e le stoviglie (4) sono fra quelli ove l'ebullizione richiede una più elevata temperatura, e in essi ella si effettua con bolle più rare ma più grosse e con maggiore strepito. Da un vaso di latta ad uno di vetro può esservi un buon grado Reaumuriano di differenza.

Però a ciascuna determinata pressione atmosferica v'ha un limite nella serie delle temperature, al di sotto del quale l'ebullizione non può mai effettuarsi, qualunque sia la qualità del vaso che si adoperi. E questo limite è quello a cui corrisponde una forza evaporante precisamente uguale alla pressione atmosferica. Al di sotto in fatti di questa temperatura, se mai si fossero formate delle bolle di vapore o alle pareti o in mezzo alla massa liquida, queste dalla prevalente pressione atmosferica verrebbero immediatamente compresse e distrutte. Perchè adunque l'ebullizione si effettui è in-

(1) *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1809, p. 436, 440.
(2) *Ibid.* p. 433.
(3) *Annales de Chimie*, anno 1812, t. LXXXII, p. 174. — *Ann. de Chimie et de Phys.*, anno 1817, t. VII, p. 308.
(4) *Ann. de Chimie et de Phys.*, t. VII, p. 309.

dispensabile che la temperatura del liquido raggiunga ed anzi superi alcun poco l'indicato limite, avanzandolo or più or meno secondo la natura de' vasi, cioè secondo che è necessario più o men calore per operare lo svolgimento delle molecole aeree e il distacco fra le molecole liquide e il vaso, e dare incominciamento all'ebullizione. Succede presso a poco lo stesso come nella solidificazione de' liquidi, la quale ha un limite nella serie delle temperature, al di sopra di cui ella è assolutamente impossibile, e sotto al quale per diverse circostanze può rimanere sospesa or più or meno. E così i liquidi hanno due limiti di temperatura dentro a' quali essi non possono nè solidificarsi nè bollire, e al di là de' quali per varie circostanze (indipendentemente dal cangiarsi della pressione atmosferica) possono or perdere ed or mantenere lo stato loro di liquidità. Tornando poi al nostro proposito, quello che noi chiamiamo *punto d' ebullizione* dell' acqua e che noi notiamo ne' nostri termometri, è appunto il menzionato limite nel quale la forza evaporante dell' acqua uguaglia la pressione dell' atmosfera.

722. *Influenza dell'aria disseminata.* È stato primieramente notato da Deluc e quindi confermato da Bellani, che all'ebullizione dell'acqua come anche di molti altri liquidi concorre in un modo efficace l'aria che vi si trova disseminata. È questa in fatti quella, secondo i sopraddetti Fisici, la quale raccogliendosi accanto alle pareti o al fondo de' vasi forma, anche dopo sloggiate le prime bollicine aeree, i primi rudimenti delle bolle che ivi si veggono scaturire. A dire il vero durante l'ebullizione si va l'acqua purgando più e più dall'aria contenuta, giacchè ciascuna bolla vaporosa ne trasporta fuori del liquido una parte. Però le ultime molecole aeree abbandonano l'acqua difficilmente, sia perchè elle sentano, da essa, essendo poche, una più forte attrazione, come avviene, p. e., delle ultime molecole d' acqua nella concentrazione dell'acido solforico per mezzo del

calore; o sia anche perchè ne' continui movimenti del liquido riescano sempre alcune di queste molecole d'aria, che però si vanno facendo gradatamente più poche, a non incontrarsi giammai con bolle vaporose già formate e in cui potrebbero venir ricevute, nè ad abbattersi in que' punti delle pareti ove potrebbe essere determinata la loro separazione dall'acqua e la formazione delle bolle vaporose, in genere a non capitar mai in circostanze atte a farle svolgere. Comunque sia, nell'acqua che si fa bollire, quantunque ella si copra con dell'olio, si conserva per lungo tempo e forse sempre qualche atomo d'aria atto a cagionarvi, almeno per interrotti intervalli, l'ebullizione. Oltre a ciò nelle ordinarie ebullizioni dell'acqua che si eseguiscono in contatto dell'aria libera, un poco d'aria vien preso e involto dal liquido nel suo rapido movimento e negli spruzzi che ricadono; e forse in qualche punto della superficie o in qualche goccia ricadente, abbassandosi la temperatura al di sotto dell'inferior limite dell'ebullizione, un po' d'aria viene riassorbito nuovamente dall'acqua e recato in mezzo alla massa bollente e giù trascinato verso il fondo; e questo rimescolamento dell'aria serve a mantenere continuamente vivace l'ordinaria ebullizione medesima. Quando quest'aria si contenga nell'acqua in pochissima quantità, l'ebullizione non si determina che a temperature superiori di parecchi gradi al termine dell'ordinaria ebullizione. E non sappiamo fino a qual grado ne sarebbe protratto l'incominciamento se l'aria mancasse affatto. In questo ultimo caso in fatti avendo il calorico o a vincere la vicendevole attrazione di parti liquide fra loro contigue e fortemente coerenti le quali esso dovrebbe allontanare a forza l'una dall'altra, ovvero a staccare delle parti liquide da pareti solide cui sono similmente a contatto e unite con forte adesione, egli incontrerebbe una resistenza molto più grande che quando non avesse altro che a sollevare un semplice strato superficiale di molecole

liquide e a spingerlo in seno ad un prossimo spazietto vano che contenesse soltanto delle sostanze aeriformi.

Per vedere quanto sia grande l'influenza dell'aria nell'ebullizione, si può ripetere la seguente sperienza di Bellani (1). Riempì egli un matraccio di vetro per circa un terzo della sua capacità con dell'acqua pura, e ricoperse questa per un altro terzo della capacità medesima con olio di noce, essendo voto il rimanente del vaso ed aperto all'aria; e introdotta giù in sino nel mezzo dell'acqua la bolla di un termometro, applicò il fuoco sotto al matraccio. Dopo che i due liquidi si furono alquanto riscaldati (e si riscaldò molto più prontamente l'acqua, potendo questa rimescolarsi seco medesima, che non l'olio il quale non poteva ricevere che il calorico trasmesso o ceduto dalle molecole acquee a proporzione che queste gli venivano in contatto (2)), dopo che si furono, dico, riscaldati i due liquidi alquanto, cominciarono a svolgersi le bolle aeree che precedono l'ebullizione, ma però queste non si mostrarono che fra l'acqua e l'olio, senza che esse apparissero (il che io non saprei punto spiegare) al fondo del matraccio in contatto coi carboni accesi. Cessate queste dopo avere attraversato l'olio, l'acqua mandava delle grosse ma rare bolle di vapore, le quali parimente attraversavano l'olio, mentre la temperatura dell'acqua progrediva da $+80°$R. a $+81°$, a $+82°$, e fino a $+90°$. In questo intervallo dopo brevi calme avvenivano nell'acqua delle subitanee e tumultuose ebullizioni, nelle quali i vapori agitando l'olio sovrastante si aprivano frammezzo ad esso l'adito all'uscita, formando una libera comunicazione momentanea coll'aria esterna, per cui l'acqua sorbolliva in seguito per alcuni istanti con abbassamento considerevole di temperatura; e dopo ciascuna di queste ebullizioni, ve-

(1) *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1809, p. 427.
(2) *Ibid.* an. 1816, p. 256 nella nota.

nendo nuovamente l'olio a ricoprir l'acqua e a intercettarne ogni comunicazione coll'aria, la temperatura dell'acqua tornava a rialzarsi; e poscia queste calme erano seguite da nuovi slanci di vapore. E così il liquido continuò, finchè da ultimo, essendo giunta la temperatura a +95°R. (+119°C.), con una istantanea esplosione di vapore vennero spinti a notabile altezza fuori del matraccio quasi tutto l'olio e l'acqua contenuti.

Deluc, dopo aver purgato d'aria, mediante il voto pneumatico e l'agitazione continuata, una certa quantità di acqua chiusa ermeticamente in un matraccio, trovò che senza la pressione atmosferica quest'acqua poteva sopportare una temperatura di +80° del suo termometro (+99°C.) senza dar segni di ebullizione; e ciò quantunque egli tenesse la parte vota del matraccio alla temperatura del ghiaccio onde i vapori dell'acqua non esercitassero sulla superficie della massa liquida che una piccolissima tensione: ed è dimostrato che se egli avesse lasciato qualche poco d'aria, si sarebbe in vece avuta l'ebullizione anche alle temperature vicine a 0°. Sotto poi la intera pressione atmosferica arrivò l'acqua sino a +98° del suo termometro (+121°C.); ma svoltasi in fine una bollicina di quell'aria che poteva l'acqua tuttavia contenere, o introdottavisi dalla superficie pel contatto dell'atmosfera, venne terminato l'esperimento da una forte esplosione del vapore, e continuò a bollire l'acqua rimastavi, discendendo pel mescolamento coll'aria avvenuto durante la tumultuosa agitazione, sino alla temperatura di +80° (equivalenti a +99°C., giacchè questo Fisico aveva i termometri graduati sotto la pressione di 27 pollici di mercurio, e probabilmente eseguiva le sue sperienze sotto questa medesima pressione).

Questa difficoltà a bollire, in grazia della poca quantità dell'aria disseminata, si osserva anche nell'alcool. Deluc trovò che i termometri ad alcool, ne' quali questo

liquido mediante la continuata ebullizione, si sia ben purgato d'aria (alla quale operazione esso si presta meglio dell'acqua) possono sopportare la temperatura dell'acqua bollente anche dopo che si è loro sottratta la pressione dell'atmosfera, vale a dire dopo che il liquido termometrico non è più soggetto che alla sola pressione del poco vapore contenuto nel tubo e dell'aria diradata quivi rimasta (1). Quando in vece rimanga un po' d'aria sì nel tubo che nel bulbo, si può avere l'ebullizione del liquido anche ad una temperatura di soli 80 ovvero 90 gradi centigradi sopra zero, malgrado l'opposizione presentata dall'aria e dal vapore contenuti nel tubo; solamente è d'uopo che questa opposizione non arrivi ad eguagliare la tensione massima del vapore alcoolico a quella temperatura, ossia alla forza evaporante che a quella temperatura possiede l'alcool; il che facilmente si ottiene coll'esporre a cotale temperatura il solo bulbo dello strumento, lasciando il tubo alla temperatura dell'ambiente.

Nelle fabbriche di sapone occorre talvolta di votar d'acqua delle caldàje ove si trova una gran massa bollente di questo liquido ricoperta d'un alto strato di sapone fuso. Si introduce a quest'uopo sino al fondo della caldaja il braccio più lungo di un sifone o tubo ricurvo, tenendo chiusa l'estremità del braccio più corto mediante un turacciolo. Al levar del turacciolo l'acqua della caldaja sale nel tubo bollendo tumultuosamente ed esce tutta quanta dall'altro braccio (2). La ragione di questo fatto, il quale forma un'utile applicazione delle dottrine che spieghiamo, è la seguente. Trovandosi l'acqua ricoperta dallo strato di sapone e separata perciò dal contatto coll'atmosfera, dopo che ha perduta colla ebullizione quasi tutta l'aria che prima conteneva cessa ella dal bollire, quantunque la

(1) *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1809, p. 431.
(2) Biot, *Traité de Physique*, 1816, t. I, p. 290.

temperatura si elevi ancora di parecchi gradi sopra il punto dell'ebullizione ordinaria (1). L'introduzione allora di quel tubo determina nell'acqua che gli è contigua una viva ebullizione, nel modo che fanno i fili metallici e i corpi porosi o profondamente incavati immersi nella comune acqua che bolla in vasi di vetro; e questo si effettua anche nell'interno del tubo appena che il turacciolo sia tolto e che l'acqua vi possa entrare. Succede adunque dentro al tubo una tumultuosa ebullizione e una salita dell'acqua bollente al di sopra del livello della massa liquida contenuta nella caldaja, essendo specificamente più leggiera di questa massa la colonna fluida contenuta nel tubo, siccome quella ch'è mista con molto vapore. Superata poi la sommità del sifone, discende il liquido ed esce dall'altro braccio, e così continua fino a che tutta l'acqua sia uscita, comportandosi allora questa nel medesimo modo come fanno ordinariamente i liquidi ne' sifoni allorchè hanno incominciato ad uscirne.

723. Era noto da molto tempo, essendo la cosa già a cognizione della Commissione istituita verso il 1777 dalla Società Reale di Londra (2) per la graduazione de' termometri, che l'acqua venendo fatta bollire vivacemente a un forte fuoco si tiene ad una temperatura più bassa cioè più vicina alla temperatura de' $+100°C$, che non quando l'ebullizione si effettua lentamente. Questo paradosso si spiega facilmente co' già posti principii. Quando l'ebullizione è rapida e tumultuosa, siccome il liquido è continuamente agitato, e viene perciò facilmente involta e giù trascinata dell'aria dalle

(1) Pensa Biot che ciò possa provenire dalla pressione dello strato di sapone; ma dovrebbe questo avere un'altezza di quattordici o di quindici piedi, per produrre un innalzamento di temperatura il quale arriva, com'egli dice, a 12 ovvero 13 gradi centigradi sopra de' $+100$.

(2) *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1809, p. 433, ove si cita il *Journal de Physique*, an. 1782, t. XXI, p. 113.

gocce ricadenti e da' vivi e irregolari movimenti del liquido stesso, e siccome inoltre si trovano incessantemente nella massa dell'acqua delle bolle di vapore già belle e formate le quali facilitano il proseguimento dell'ebullizione, così ne succede che quasi tutto il calorico che porterebbe la temperatura al di là de' 100°C. ha campo continuamente di rendersi latente, e la temperatura non oltrepassa mai guari questo punto, nè mai possono aver luogo di quelle calme nelle quali la temperatura si eleva. Quando in vece l'ebullizione è lenta, atteso il minor movimento del liquido, è più difficile che l'aria rientri per di sopra e sia trascinata verso il fondo, e più facilmente perciò viene l'acqua impoverita dell'aria contenuta. Succedendo pertanto che, dopo uscita una gran parte di quest'aria, l'ebullizione si sospenda per un momento (ricevendo bensì il liquido più calorico dal fuoco sottoposto di quello ch'esso ne perda nella semplice evaporazione, ma meno però di quello che se ne dissipi in una non interrotta ebullizione), in questo caso essa ebullizione trova qualche difficoltà a ripigliarsi nuovamente, e prima di ricominciare lascia che la temperatura si elevi di qualche frazione di grado o anche di qualche grado al di sopra de' 100°C. Ben succede che salito il liquido a qualche grado sopra i +100°, arriva poi l'istante di una tumultuosa e rapida ebullizione, o almeno della formazione di qualche grossa bolla di vapore; ma questa cessa in breve, sì perchè presto è esaurita la quantità sovrabbondante di calorico, e sì perchè è scarsa la quantità d'aria disseminata che concorre alla formazione delle bolle vaporose, e non ha tempo altra aria durante questa momentanea ebullizione di rientrare in sufficiente quantità. In conseguenza di ciò avendosi un termometro immerso in quest'acqua, andrà esso oscillando fra le temperature più alta e più bassa che può avere il liquido (con oscillazioni però meno ampie di quelle del liquido stesso), e potrà pre-

sentare una temperatura media sensibilmente superiore a quella che esso mostra nell'acqua che bolle fortemente e perciò continuamente. Ed è tanto più difficile il ricominciamento della ebullizione, e tanto più elevata è la temperatura fino a cui ascende il liquido come anche quella che può presentare il termometro, quanto più è lenta la comunicazione del calore; sempre però ben inteso che la quantità di calorico che si va comunicando sia maggiore di quella che il liquido va perdendo nella semplice evaporazione, tanto per la formazione de' vapori quanto per altre vie, di maniera che la temperatura negli istanti di calma debba elevarsi. Per vedere ancor meglio la differenza di cui parliamo, si supponga che mentre il liquido, bollendo su lento fuoco, sta per cessar dall'ebullizione e per mettersi in una di quelle calme che il possono recare a più alta temperatura, riceva istantaneamente in qualche punto una nuova quantità di calorico che impedisca quella calma, venendo, p. e., avvicinato al di sotto del vaso qualche corpo fortemente acceso; egli è chiaro che con ciò verrà frastornato quel generale e graduato riscaldamento che era in procinto di aver luogo con quella calma per la lenta introduzione del calorico; e se verranno replicate queste istantanee applicazioni di calorico in modo da non permettere mai di quelle calme, non potrà mai nemmeno la temperatura gran fatto elevarsi sopra de' $+100^{\circ}$C.

Il Bellani pose in chiara evidenza questa singolarità coll'appendere un matraccio di vetro ben netto e ripieno di acqua pura ad una fune che si poteva lentamente alzare ed abbassare, e vi sottopose un piccolo fornello con de' carboni accesi. Egli riconobbe, mediante un termometro tenuto immerso nell'acqua del matraccio, che qualunque volta il matraccio veniva alzato la temperatura si elevava alcun poco, cioè circa sino a $+81^{\circ}$R., e l'ebullizione si rallentava e non mandava più che rare e grosse gallozzole; e che al-

l'incontro la temperatura medesima si abbassava, e l'ebullizione si rendeva più rapida quando il matraccio veniva avvicinato al fuoco. Anzi se dopo che era stato lentamente innalzato il matraccio, e che la temperatura era giunta a +81°R., continuando poche e grosse bolle ad attraversare il liquido, veniva tolto dal di sotto il fornello, cessava all'istante l'acqua dal mandar bolle, ma s'innalzava nulladimeno il termometro di un altro quarto di grado Reaumuriano. Quest'ultimo riscaldamento nasceva dal calorico che si era insinuato nel vetro e che veniva poscia comunicato all'acqua; a quel modo che scaldando l'acqua, p. e. a +50°R., e levando tosto il recipiente dal fuoco, l'acqua continua a riscaldarsi più o meno in proporzione della minore o maggior grossezza delle pareti del vaso stato esposto al fuoco (*).

724. Segue da tutto questo che il punto dell'ebullizione dell'acqua non solo varia dall'una qualità di vaso all'altra, ma eziandio è incostante nel medesimo vaso, ora elevandosi e con ciò allontanandosi dal limite inferiore dell'ebullizione corrispondente a quella pressione atmosferica, ed ora abbassandosi ed avvicinandosi al limite medesimo. Questa osservazione è di una grande importanza nella graduazione de' termometri, e ci avverte essere mal sicuro l'uso di immergere lo strumento nell'acqua bollente. Giova in vece tenerlo in mezzo al vapore di tale acqua (§ 645), nel qual caso mancano quelle oscillazioni, e altresì la temperatura che prende lo strumento è precisamente quella dell'inferior limite succennato, come spiegheremo altrove.

725. Quando l'acqua abbia già bollito una volta e sia perciò stata privata d'una gran parte dell'aria ospitante, senza aver quindi avuto tempo sufficiente per tornarla a riprendere, non mostra essa, come è ben chiaro, nè sulle pareti nè sul fondo del vaso quella ru-

(*) *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1809, p. 422 e seg.

giada di bollicine aeree che abbiamo già descritta (§ 718); inoltre in luogo di quel fremito o di quella serie di minute e numerose detonazioni che si fanno sentire quando l'acqua si riscalda, si odono degli scoppii più rari, ma insieme assai più forti. Avvengono questi perchè, quantunque la massa acquea nel suo mezzo e alla sua superficie sia ancora pochissimo calda, in contatto col fondo ella arriva nulladimeno sino al punto dell'ebullizione e a qualche cosa più in là, non potendo per la scarsezza o anche per la mancanza dell'aria disseminata incominciare l'ebullizione in sul fondo ai precisi +100°C. Se adunque viene a formarsi in sul fondo del vaso a questa parziale elevata temperatura una minima bolla di vapore o col favore di qualche molecola aerea rimasta o per altra causa, cresce questa bolla prontissimamente, e rimove con forza l'acqua contigua, cioè con molto maggior forza che nel caso del fremito contemplato al § 719, atteso il molto maggiore riscaldamento che può aver luogo nell'acqua in sul fondo del vaso; ma immediatamente dopo viene questa grossa bolla colta dal freddo dell'acqua sovrapposta, è ridotta nuovamente allo stato liquido dalla pressione dell'atmosfera; dal qual rapido rimovimento, e dal quale rapido condensamento successivo nasce poi il sopraddetto forte strepito. Il rapido rimovimento in fatti imita in piccolo quella esplosione da cui vien gettata l'acqua fuori de' vasi quando questa si fa bollire sotto l'olio; e dello strepito prodotto dal condensamento n'abbiamo un esempio allorquando si conduce con un sottil tubo il vapore dell'acqua bollente entro ad una massa d'acqua fredda. E siccome in quel luogo del fondo ove si è formata la bolla si abbassa intanto la temperatura dell'acqua sino a +100°C., e non può risalire notabilmente sopra questo punto se non dopo qualche tempo, così ne avviene che questi scoppii si succedono ad intervalli alquanti distanti l'uno dall'altro. Si ascoltano poi essi

verso il principio del riscaldamento, e cessano quando l'acqua è già alquanto riscaldata: il che par che provenga dall'essere in quest'ultimo caso più agitata la massa dell'acqua, e dal non potere essa perciò acquistare in sul fondo del vaso quel parziale riscaldamento che produce gli scoppii.

726. Tutte le particolarità che abbiamo superiormente notate riguardo all'ebullizione dell'acqua, si presentano a un di presso nelle ebullizioni di tutti que' liquidi, i quali bollendo non soffrono chimiche separazioni nè decomposizioni, quali sarebbero l'alcool rettificatissimo, l'etere solforico, il mercurio, ec.; v'è soltanto la differenza che ciascuna di queste sostanze bolle ad una temperatura sua propria, più elevata per l'una di esse e più bassa per l'altra, essendo molto diversi i gradi di temperatura a cui le forze evaporanti di queste sostanze uguagliano la pressione dell'atmosfera (Vedi la tavola posta sul fine del capitolo). Oltre a ciò riguardo al mercurio vi ha a notare che esso, come ha dimostrato Bellani (*), non tiene sciolta nè aria nè acqua nè altra sostanza liquida od aeriforme; però la sua ebullizione è sempre facilitata o dall'imperfetto contatto colle pareti de' vasi, o da qualche velo d'aria o d'umidità aderente.

727. *Influenza della pressione atmosferica.* Il punto dell'ebullizione di un dato liquido, ossia l'inferior limite a cui la sua ebullizione è possibile, dipende onninamente dalla pressione dell'atmosfera. Egli è invariabile rimanendo costante questa pressione, e si eleva o si abbassa secondo che questa cresce o diminuisce. Riguardo all'acqua, si trova che quando la pressione è vicina ai 28 pollici di mercurio, ogni pollice di cui ella cresca o scemi fa variare la temperatura dell'ebullizione di 1°C. ossia di $\frac{4}{5}$ di un grado a scala di Réaumur. Per

(*) *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1823, p. 20 e seg. citato al § 604 di questo volume.

esempio alle pressioni qui sotto descritte corrispondono per l'ebullizione dell'acqua le seguenti temperature prossimamente:

25 pol.	97° C.	77° 3/5 R.
26	98°	78° 2/5
27	99°	79° 1/5
28	100°	80°,000
29	101°	80° 4/5

Ma a molta distanza dai 28 pollici la regola non è più esatta.

Da ciò segue che nelle alte montagne e in genere ne' luoghi elevati l'acqua bolle a temperature molto più fredde che ne' luoghi bassi; sulla cima, p. e., del Monte Bianco, ove si è all'altezza di 4800 metri sopra il livello del mare, e dove la pressione atmosferica suol essere soltanto di 16 pollici ossia di 433 mill. di mercurio, l'acqua bolle a soli +85° C. ossia a +68° R. (*).

La ragione di tali differenze sta in questo, che quando è debole la pressione dell'atmosfera, basta per superarla una debole forza evaporante corrispondente a una bassa temperatura; e quando all'incontro la pressione atmosferica è grande, occorre una grande forza evaporante per poterla vincere, e quindi una elevata temperatura. Nell'esempio del Monte Bianco, nel quale la pressione non è che di circa 16 pollici, è bastante per avere l'ebullizione dell'acqua una temperatura di +85° C. ossia di +68° R., poichè a questa temperatura corrisponde appunto una forza evaporante atta ad equilibrare una pressione di 16 pollici di mercurio.

(*) Saussure, essendo ivi la pressione atmosferica di 16 pollici, e $\frac{144}{160}$ di linea, trovò gradi 68°,993 del suo termometro, i quali, per quello che dicemmo al § 644, equivalgono a 68°,3 del nostro termometro a scala di Réaumur. *Voyages dans les Alpes* § 2011.

Le temperature adunque che sono necessarie alla ebullizione dell'acqua sotto diverse pressioni vengono fatte conoscere dalla legge delle forze evaporanti di questo liquido corrispondenti ai varii gradi di temperatura; perciò avendo noi esposta questa legge qui in seguito nella tavola del § 752, potremo da essa tavola facilmente dedurre qual sia il grado necessario all'ebullizione dell'acqua sotto qualsivoglia pressione; se vorremo, p. e., la temperatura occorrente all'ebullizione dell'acqua sotto una pressione di 2 pollici, basterà ritrovare qual sia la temperatura a cui corrisponde una forza evaporante appunto di 2 pollici, e si avranno $+40°$C. ossia $+32°$R.

Alla temperatura di 0°C., ed anche a temperature inferiori a 0°, l'acqua e il ghiaccio conservano ancora alcun poco di forza evaporante; nell'acqua a 0°, p. e., questa forza è di circa 2 linee e 1/4 di mercurio ossia di millimetri 5,059. Se adunque per mezzo della macchina pneumatica si rarefaccia l'aria fino a non aver più che una forza espansiva o *tensione* di 2 linee, noi potremo in essa aria aver acqua bollente anche a 0°. Ridottasi però l'acqua in ghiaccio egli è ben chiaro che non si ha più ebullizione, ostando la coesione delle molecole solide, e soltanto si ha l'evaporazione.

Affinchè però sotto le diverse pressioni si ottenga l'ebullizione precisamente a quelle temperature che verrebbero date dalla tavola citata, è d'uopo che il liquido non sia stato bollito di recente ossia che contenga una sufficiente quantità di aria ospitante; in caso diverso l'ebullizione può non aver luogo a cotali temperature, ed esigerne pel suo incominciamento di quelle molto più elevate (*).

728. *Influenza delle sostanze sciolte ne' liquidi e di quelle che vi stanno sospese.* Il punto dell'ebullizione

(*) Bellani nel *Giornale di Fisica di Pavia*, an. 1809, p. 429. Vedi anche qui indietro al § 722.

d'un liquido non si cangia pe' corpi stranieri che stanno meccanicamente sospesi nella sua massa, come sarebbero le fine particelle di sabbia nell'acqua; al più questi possono impedire che la temperatura del liquido bollente s'innalzi sensibilmente al di sopra dell'inferior limite della sua ebullizione, corrispondente a quella data pressione atmosferica, ma senza alterare minimamente questo limite. All'incontro un tale punto d'ebullizione vien sempre cangiato dalle sostanze che vi stanno mescolate chimicamente. Tutti i sali, p. e., ritardano l'ebullizione dell'acqua; ed è cosa degna d'osservazione che il vapore dato da queste soluzioni è vapor acqueo purissimo, senza veruna traccia delle sostanze sciolte. Ecco i punti d'ebullizione di alcune soluzioni sature (*).

Sale comune	109° C.
Muriato d'ammoniaca . . .	114°,4
Nitro	115°,6
Tartrato di potassa	116°,7
Nitrato d'ammoniaca . . .	125°,3
Sottocarbonato di potassa.	140°,0

Nasce questo ritardamento dal venire indebolita la forza evaporante dell'acqua per cagione dell'affinità del sale, la quale ritiene or più or meno le molecole che tendono a staccarsi per convertirsi in vapore.

729. *Applicazioni alla graduazione de' termometri.* Di tutte queste cose è necessario tener conto nel graduare i termometri: e però conviene usare le seguenti avvertenze.

1.° L'acqua che si fa bollire dev'essere purissima, cioè o piovana o distillata; quella de' pozzi potrebbe contenere sciolto un qualche sale che ne ritardasse alcun poco il punto dell'ebullizione.

2.° Ne' casi ne' quali per mancanza di opportuni co-

(*) Pouillet, *Élémens de Physique*, t. I, p. 355.

modi non si possa far uso del vapore nel modo accennato al § 645, si debbono preferire i vasi metallici per farvi bollir l'acqua; e se non si hanno in pronto che vasi di vetro, conviene porvi un pizzico di qualche limatura metallica; e sì nell'un caso che nell'altro dee l'ebullizione esser vivace.

3.° Non si dee porre la bolla del termometro a molta profondità sotto la superficie dell'acqua bollente, poichè anche il semplice peso dell'acqua può ivi ritardare l'ebullizione di qualche frazione di grado. Ma anche tenendo lo strumento poco profondo si incontrano parecchie difficoltà. Se si tiene verticale con una parte del tubo fuori dell'acqua, il mercurio contenuto nel tubo non è tutto alla temperatura *normale*. Se si tiene disposto orizzontalmente, affinchè tanto il tubo che il bulbo si trovino immersi poco sotto la superficie, si ha l'inconveniente notato al § 649, che usato poscia lo strumento in situazione verticale, le sue indicazioni sono minori del vero di una piccola frazione di grado. A tutte queste difficoltà si ovvia, se si tiene tutto il termometro immerso nel vapore dell'acqua bollente collo strumento indicato dalla figura 15 (§ 645).

4.° Essendo la pressione atmosferica generalmente diversa da quella di 28 pollici o di 76 centimetri, conviene tener conto della differenza, facendo corrispondere al punto dell'ebullizione non già il grado 80 se la scala è quella detta di Réaumur, ovvero il 100 se è centigrada, ma bensì un grado convenientemente maggiore o minore. Veggasi il già citato § 645.

730. La convenienza del tenere immersi nel vapore acqueo i termometri da graduarsi deriva dalla proprietà che si ammette ne' vapori di prendere esattamente la medesima temperatura della superficie liquida che gli emette, e dall'avere necessariamente questa superficie, quando al di sopra non vi sia a contatto immediato aria ma soltanto vapore, quella stessa temperatura cui corrisponde una forza evaporante uguale alla pressione esercitata coll'intermezzo del vapore sulla superficie

stessa. E in fatti se una tale superficie fosse appena più fredda, immediatamente l'acqua riassorbirebbe una certa quantità del vapore sovrastante, dal quale questa superficie sarebbe riscaldata; e se fosse più calda, verrebbe emesso rapidamente del vapore, talchè ella si dovrebbe raffreddare. Quando adunque l'acqua bolle fortemente in un vaso simile a quello rappresentato dalla fig. 15, cioè in un vaso da cui l'aria sovrastante all'acqua possa venire interamente scacciata, la esterior superficie di quest'acqua ha precisamente una forza evaporante uguale alla pressione atmosferica, e il vapore che se ne stacca ha la precisa temperatura occorrente alla superficie dell'acqua onde possedere questa forza evaporante; nè questo vapore allontanandosi dall'acqua al lungo del vaso, finchè non è mescolato coll'aria, può raffreddarsi; giacchè la perdita di calorico ch'esso può fare pel contatto di superficie più fredde, viene risarcita dalla riduzione di una parte di esso allo stato di liquidità sopra queste superficie medesime, non potendo la forza evaporante dello strato liquido o sottilissimo e invisibile o grosso e visibile che si trova deposto su queste superficie, resistere alla pressione con cui il vapore vi viene forzato contro dal peso dell'atmosfera, come diremo più ampiamente poco innanzi.

È un po' più caldo il vapore delle bolle che si formano in fondo al vaso fino a che rimangono verso il fondo medesimo. Ma esse nello ascendere si rarefanno pel diminuire della pressione e si raffreddano; e inoltre il vapore che ricevono nello ascendere è men caldo, siccome quello che viene emesso sotto minor pressione; in fine l'acqua frammezzo a cui salgono e che loro comunica calorico per contatto, è anch'essa, ne' punti del contatto vicendevole, men calda. Per le quali ragioni queste bolle, nel giugnere alla superficie del liquido e nel loro scoppiare, se non hanno precisamente la temperatura del vapore che si forma alla superficie superiore, la diversità è al certo piccolissima.

Nè varia la temperatura del vapore per la diversa natura del vaso in cui l'acqua bolle. Ancorchè quest'acqua, supposta privata d'aria e fatta bollire in vasi netti di vetro, si riscaldi d'alcuni gradi oltre al termine dell'ordinaria ebullizione, ciò nullameno i punti di essa acqua ne' quali si effettua

l'evaporazione, sieno essi nella superficie libera o superiore, o sieno all'intorno delle bolle al di sotto della superficie libera medesima, si mettono prontissimamente, in grazia della rapida evaporazione di una parte del liquido, alla precisa temperatura a cui ha luogo l'equilibrio della forza evaporante colla pressione su di essi punti esercitata. Una sola condizione è necessaria, ed è che il vapore non arrivi mai a contatto di superficie solide ed asciutte che sieno più calde del punto d'ebullizione, stantechè quivi acquisterebbe anch'esso una più elevata temperatura.

Questa temperatura poi del vapore viene interamente comunicata anche alla bolla del termometro posto in mezzo ad esso vapore, e alla parte di tubo che vi sta immersa, continuando a deporsi vapore sulla superficie di questa bolla e di questa parte di tubo, fino a che essi abbiano presa una tale temperatura; allora, arrivando la forza evaporante dello strato liquido formatosi su questa superficie ad uguagliare la pressione esercitata dal vapore, cessa l'ulteriore deposizione di questo.

Fin qui noi abbiamo inteso di parlare del vapore dell'acqua pura. Bollendo una soluzione salina, il vapore che ne risulta ha una temperatura più elevata, cioè ha la temperatura necessaria all'ebullizione della soluzione medesima; e questo vapore in contatto di pareti fredde si può raffreddare alcun poco senza deporsi, e perciò può aver temperature disuguali dall'un punto all'altro; e un corpo che gli si trovi in mezzo, qual sarebbe, p. e., la bolla di un termometro, può prendere secondo le diverse circostanze ora una ed ora un'altra delle temperature comprese fra il punto d'ebullizione dell'acqua pura e quello della soluzione salina. Da ciò si scorge chiaramente che anche allorquando si graduano i termometri col vapore è d'uopo far uso di acqua pura.

731. *Ulteriori nozioni sul Calorico che si rende latente nel passaggio de' liquidi allo stato aeriforme.*

Si potrebbe ragionevolmente dubitare che il calorico che si rende latente nella formazione rapida del vapore varii secondo che è maggiore o minore la pressione dell'atmosfera; che un liquido cioè il quale si faccia bollire sotto la pressione di 28 pollici di mercurio assorba e riduca latente

una quantità di calorico diversa da quella resa latente da una eguale massa dello stesso liquido fatto bollire sotto una pressione, p. e., di soli 14 pollici; e a ciò dubitare ci porta la considerazione che al variare della pressione atmosferica si cangia tanto la temperatura quanto la densità del vapore.

Per verificare o dissipare questo dubbio rispetto all'acqua, hanno instituito delle accurate sperienze i signori Desormes e Clement (*); ed hanno essi trovato che riducendo allo stato di liquidità delle uguali masse di vapore acqueo ottenute dall'ebullizione sotto pressioni molto diverse, col farle entrare in una massa d'acqua fredda che sia tutte le volte della medesima massa e della medesima temperatura, sempre quest'acqua si riscalda dello stesso numero di gradi. Dal che hanno conchiuso che qualunque sia la temperatura, una data quantità di vapore acqueo denso a *saturazione* contien sempre la medesima quantità assoluta di calorico, e che lo stesso dee credersi di qualsivoglia altra specie di vapore. Se si hanno cioè due uguali masse di una data specie di vapore, l'una ad alta temperatura e alla densità di saturazione corrispondente a questa temperatura, l'altra a temperatura più bassa e alla densità di saturazione che corrisponde a questa più bassa temperatura, avrà bensì questa seconda massa maggior volume della prima, e per questo conto avrà una maggiore attitudine per contenere il calorico; però il trovarsi essa seconda massa ad una temperatura meno elevata fa, secondo i due citati autori, che per riguardo alla totale quantità di calorico contenuta vi sia un esatto compenso; talchè quella precisa maggior quantità di calorico che dovrebbe essere contenuta nella massa più dilatata quando fosse anch'essa alla temperatura più elevata, viene ad esserle mancante in grazia del suo trovarsi ad una più bassa temperatura. In conseguenza di ciò se si avrà una data quantità di qualche sorta di vapore ad una elevata temperatura e alla corrispondente densità di saturazione, e se questo vapore verrà lasciato espandere meccanicamente in uno spazio maggiore senza che abbia luogo nessun assorbimento contemporaneo di calorico esterno, verrà la espansione meccanica accom-

(*) Thénard, *Chimie*, ediz. 1821, t. IV, pag. 263.

pagnata da un tale raffreddamento che il vapore si troverà precisamente alla densità della saturazione anche nel suo nuovo volume. E viceversa se questo vapore verrà compresso in minore spazio, senza che perda della quantità di calorico contenuta, non verrà a precipitarsene veruna nuova quantità, ma l' elevamento di temperatura che avrà luogo per la diminuzione del volume farà che tutto si conservi allo stato aeriforme, saturando esattamente il nuovo spazio. E le varie temperature che prenderà il vapore nel suo restringersi e nel suo dilatarsi saranno quelle della ebullizione sotto le nuove pressioni dalle quali verrà ritenuto. Se, p. e., si tratterà di vapore acqueo, il quale essendo primitivamente ritenuto da una pressione di 152 centimetri di mercurio, passi ad essere premuto da una forza di soli 76 centimetri, discenderà esso, in conseguenza della sua espansione, dalla temperatura necessaria a bollire sotto 152 centimetri, cioè da + 121°,5 C., fino alla temperatura occorrente per bollire sotto 76 centimetri, cioè fino a +100° C., saturando ancora compiutamente lo spazio aumentato, e mostrando così di contenere la medesima quantità di calorico come se fosse stato formato nel nuovo spazio sotto la pressione di 76 centimetri.

Quando ciò sia rigorosamente vero, le bolle di vapore che si innalzano dal fondo di un vaso d' acqua bollente, le quali nel loro primo formarsi sono più calde di +100° C. (supposto che la pressione atmosferica sia di 76 centimetri di mercurio), debbono nel dilatarsi prendere precisamente quelle temperature che corrispondono alla ebullizione sotto le pressioni in cui esse bolle successivamente si portano; e giunte alla superficie debbono scoppiare con una temperatura perfettamente uguale a quella del vapore che viene prodotto dalla evaporazione superficiale. Allora il metodo di determinare il punto dell' ebullizione ne' termometri per mezzo del vapore acqueo sarebbe esattissimo. È però necessario, come si è già detto, che il vaso esposto al calore del fuoco non possa da questo essere riscaldato al di sopra di 100° C. (sempre ritenuta la pressione di 76 centimetri) ne' punti che si trovano al di sòpra del livello dell' acqua contenuta.

Da ciò seguirebbe altresì che la quantità di calorico che si rende latente colla evaporazione nel voto è tanto maggiore

quanto più l'acqua è fredda. Se l'acqua in fatti che si dee ridurre in vapore è a +100° C., e se anche il vapore ottenuto dee trovarsi a questa temperatura, il calorico che si rende latente in tale passaggio è uguale a 537 ½ volte quella quantità che basterebbe a riscaldare l'acqua medesima da 0° a +1° C. (§ 458). Se in vece l'acqua suddetta prima di essere ridotta in vapore è a +50° C., e se si vuole che anche il vapore ottenuto debba essere a questa temperatura, e che debba trovarsi in uno spazio voto d'aria convenientemente più grande che nel caso precedente, in questo caso, secondo le conclusioni di Desormes e Clement, dee rendersi latente nel passaggio allo stato di vapore 587 ½ volte la suddetta quantità di calorico che basta a scaldare quell'acqua da 0° a +1° C.: perciocchè, siccome quest'acqua quando è ancor liquida contiene men calorico che nel caso precedentemente contemplato, e in vece dopo la riduzione in vapore ne contiene la stessa quantità come una ugual massa di vapore ottenuto mediante l'ebullizione a +100° C., così nel presente secondo caso fa d'uopo che si renda latente col passaggio allo stato di vapore una quantità di calorico di più, cioè tanto quanto ve n'era meno nell'acqua ancor liquida. E se, per un altro esempio, l'acqua medesima mentre è ancora liquida ha la temperatura 0° C., e dev'essere convertita in altrettanto vapore similmente a 0° contenuto in uno spazio voto sufficientemente grande, in questo passaggio si renderà latente una quantità di calorico atta a scaldare 637 ½ volte quella stessa quantità di acqua da 0° a +1°. In generale il vapore ottenuto nel voto a una temperatura qualsivoglia contiene tanto calorico più che una ugual massa d'acqua a 0°, quanto basterebbe a scaldare 637 ½ volte questa stessa massa d'acqua da 0° a +1°; e di una tale quantità di calorico quanto è maggiore la parte già contenuta nell'acqua che dee ridursi in vapore, mentre è ancor liquida, tanto minore è l'altra parte che debb'essere assorbita e resa latente nel passaggio allo stato aeriforme.

Se queste deduzioni sono vere, e se reggono fino alle temperature elevatissime, se cioè le quantità di calorico rese latenti per l'evaporazione nel voto vanno rendendosi gradatamente più piccole a proporzione che crescono le quantità

di calorico già contenute nell'acqua ancor liquida, noi possiamo conchiudere esservi una certa temperatura alla quale cessa affatto il passaggio del calorico allo stato latente. E ciò pare anche naturale, poichè scemando col successivo riscaldamento la densità del liquido e crescendo in vece quella del vapore, debbono queste densità gradatamente avvicinarsi e in fine coincidere, e allora dee cessare la distinzione de' due stati, come pure il passaggio del calorico da sensibile a latente. Questa temperatura dovrebbe essere alquanto inferiore a $+637^{\circ}\ ^{1}/_{2}$ C., stantechè essendo molto maggiore che a 0° la capacità dell'acqua pel calorico corrispondentemente a questa elevata temperatura, si ricercherebbe, per portar l'acqua da 0° fino a questo punto, molto più calorico di quello occorrente a scaldarla $637\ ^{1}/_{2}$ volte da 0° a +1°; e probabilmente si trova questa temperatura verso i +500° C., od anche sotto. Su queste conclusioni, le quali sarebbero al certo molto lontane e mal sicure se non avessero altro appoggio che quello delle sperienze fatte da Clement e Desormes a temperature poco elevate, noi torneremo di nuovo quando faremo conoscere i risultamenti di M. Cagniard La Tour (§ 802).

732. Io non so se ancora si sieno fatte delle esatte sperienze per determinare la quantità di calorico che si rende latente nell'evaporazione de' liquidi allorchè il vapore si mesce coll'aria atmosferica. Per non tacere però affatto intorno a questo particolare, mi farò lecito di esporre, se non altro, alcune verisimili congetture, valevoli per l'evaporazione dell'acqua allorquando la pressione atmosferica è di 76 centimetri di mercurio; tanto più che a questa determinazione si appoggia un metodo molto comodo per misurare l'umidità dell'aria.

Noi ammetteremo le seguenti probabili ipotesi:

1.ª Che nel mescolarsi insieme due masse aeriformi sottoposte entrambe ad una medesima pressione, dotate della medesima temperatura, e prive d'ogni vicendevole chimica azione, non si cangi minimamente la temperatura all'atto del mescolamento, ben inteso che il mescuglio rimanga sottoposto alla medesima pressione sotto cui si trovavano le due masse separate.

Segue da questa ipotesi che in generale la quantità di

calorico perduta o acquistata da un miscuglio di due o più fluidi aeriformi per un dato cangiamento di temperatura, uguaglia la somma delle quantità di calorico che verrebbero acquistate o perdute dalle diverse masse quando soffrissero separatamente il medesimo cangiamento di temperatura. Se in fatti si lasciassero separate, e si portassero separatamente a una temperatura, p. e., più bassa, e dopo misurata la quantità totale di calorico perduta si mescessero insieme, lo stato finale sarebbe il medesimo come se si fossero unite prima e quindi fatte raffreddare del medesimo numero di gradi; dee quindi venire perduta in ambi i casi la medesima quantità di calorico.

Da questa prima conseguenza ne deriva quest' altra, che per avere la quantità di calorico perduta da un miscuglio aeriforme nel raffreddarsi d' un certo numero di gradi, basterà moltiplicare le diverse masse per le rispettive capacità specifiche, e moltiplicare quindi la somma de' prodotti pel numero de' gradi del raffreddamento. Il che è lo stesso che dire che la capacità *totale* di un miscuglio aeriforme si ha dal sommare i prodotti delle masse componenti per le rispettive capacità specifiche.

2.ª Che avendosi del vapore acqueo mescolato con dell' aria sotto una pressione di 760 millimetri di mercurio, si possa riguardare il vapore separato, per rispetto alla capacità specifica, come equivalente a un gas il quale sotto la pressione suddetta di 760 millimetri abbia la capacità specifica 0,847, posta = 1 la capacità specifica dell' acqua (s'intende delle capacità a pari masse); vale a dire che la capacità *totale* pel calorico di una massa $(m+m')$ di aria umida formata da una massa m d' aria secca, e da una massa m' di vapore acqueo, sotto la già detta pressione atmosferica sia espressa da

$$m.\ 0,2669 + m'.\ 0,847,$$

essendo 0,2669, come è noto (§ 434), la capacità specifica dell' aria.

Questa ipotesi non è altro che il risultamento di alcune esperienze instituite da De La Roche e Bérard sulla capacità specifica dell' aria umida (*). È facile che in questo risulta-

(*) Biot, *Traité de Physique*, t. IV, p. 724.

mento (voglio dire nel numero 0,847) vi sia qualche leggiero errore, ma esso è il risultamento più sicuro che finora si sia potuto ottenere.

Ecco ora come da questi dati si possa avere la quantità di calorico cercata.

Sia una massa m d'aria o secca o anche alquanto umida, sottoposta alla pressione di 760 millimetri di mercurio e dotata della temperatura di $+t$ gradi centigradi; evapori in essa una massa m' d'acqua, dotata anch'essa della temperatura $+t$; e si chiami $m'Q$ la quantità di calorico che quest'acqua dee assorbire affinchè il vapore formato sia anch'esso alla temperatura $+t$, nel supposto che le masse sieno espresse in grammi, e che $m'Q$ esprima il numero delle volte che la quantità di calorico cercata può scaldare un grammo d'acqua d'un grado centigrado.

Per determinare la Q, supponiamo in primo luogo che dopo fatta evaporare la massa m' d'acqua nella massa m d'aria, venga il mescuglio riscaldato insino a $+100°$ C. La quantità di calorico che verrà impiegata in questa evaporazione e nel successivo riscaldamento, chiamata c la capacità specifica dell'aria, sarà misurata da

$$m'Q + (cm + 0{,}847.m')\ (100 - t)$$

Supponiamo in secondo luogo, tornando di nuovo allo stato primitivo dell'aria e dell'acqua alla temperatura $+t$, che si scaldino separatamente quest'aria e quest'acqua fino alla temperatura di $+100°$ C., che a tale temperatura si faccia evaporare tutta l'acqua in modo da ridursi in altrettanto vapore a $+100°$ C., e che in fine il vapore ottenuto si mescoli coll'aria. Essendo 1 la capacità specifica dell'acqua, sarà la quantità di calorico che si sarà dovuta comunicare al mescuglio, espressa da

$$(c.m + 1.m')\ (100 - t) + m'.537\ ^1/_2;$$

poichè un grammo d'acqua a $+100°$ C. nel ridursi in vapore assorbe, come più volte si è detto, tanto calorico quanto basterebbe a scaldare di 1° C. grammi 537 $^1/_2$ di acqua.

Siccome in entrambe le supposizioni si impiegano dell'aria e dell'acqua che sono primitivamente nelle medesime

condizioni, e se ne ottengono in fine aria e vapore pure nelle condizioni medesime; così le suddette due quantità di calorico dovranno essere uguali; e si avrà l'equazione

$$m'Q + (cm + 0{,}847.m')(100 - t) = (cm + m')(100 - t) + m'.537{,}5$$

da cui dopo alcune facili riduzioni si ottiene

$$Q = 552{,}8 - t.\,0{,}153.$$

Gay-Lussac (1) e con lui August (2) ammettono che alle ordinarie temperature dell'atmosfera per l'evaporazione di un grammo d'acqua nell'aria si renda latente la quantità di calorico 550; mi pare però che questa coincidenza col mio risultamento sia più accidentale che dipendente da identità di principii; giacchè questi due autori pigliano, secondo che mi sembra, il risultamento dato dall'esperienza nell'evaporazione a $+100°$ C. (ammettendo essi che in questa evaporazione si renda latente una quantità di calorico espressa appunto da 550), e senza farvi modificazione alcuna lo estendono al caso dell'evaporazione nell'aria alle temperature ordinarie.

Secondo queste conclusioni la quantità di calorico resa latente mediante l'evaporazione nell'aria, continuerebbe ad essere maggiore alle temperature basse che alle elevate; però all'abbassarsi delle temperature s'aumenterebbe più rapidamente la quantità resa latente nel vacuo che non quella nell'aria; di maniera che esse quantità non sarebbero uguali che alla precisa temperatura dell'ebullizione, ma passando sotto questo punto la quantità resa latente nel vacuo diverrebbe prevalente all'altra, e con differenze tanto maggiori quanto più la temperatura fosse bassa.

733. Da quanto però si è qui detto non segue che si dissipi sempre men calorico quando l'acqua si faccia evaporare che quando si faccia bollire; ma anzi, se l'evaporazione si ottiene artificialmente portando il liquido a una temperatura più elevata di quella dell'ambiente, può facilmente aver luogo tutto il contrario, in grazia della grande quantità di calorico che in questo caso viene altresì comu-

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXI, p. 87.
(2) Gehler's *Physik. Wörterb. neu bearb.* t. V, p. 640.

nicata all' aria sovraincombente all' acqua. Io potrei confermare quest' asserzione mediante un calcolo, ma sento la necessità di dover aspettare che sieno maggiormente assicurate dalle sperienze le deduzioni or ora esposte.

Se la determinazione di cui ci siamo occupati si potrà rendere più sicura, ed estendere alle altre pressioni barometriche, sarà cosa molto importante sì per l'Igrometria come per la Meteorologia. Riguardo all' Igrometria vedremo fra non molto una importante applicazione, e rispetto alla Meteorologia si potrebbe per essa determinazione venir a conoscere la quantità di calorico resa sensibile nella formazione delle nubi, della neve, ec., in genere di quelle meteore ove una parte del vapore invisibile contenuto nell'atmosfera passa allo stato liquido o al solido.

734. *Osservazione.* È stato osservato che nelle manifatture la conversione dell'acqua in vapore per mezzo dell' ebullizione si ottiene con maggiore dispendio di calorico quando i vasi sono interamente scoperti, che quando essi sono coperti in modo da non lasciare che un' apertura appena sufficiente alla libera uscita del vapore (*). Mi sembra che la differenza provenga principalmente dalla irradiazione, la quale fa perdere molto più calorico nel primo caso che non nel secondo.

735. *Di alcune altre particolarità riguardanti l' ebullizione.* Quando il vapore possa uscire liberamente dal vaso ove il liquido bolle, la rapidità della formazione del vapore è precisamente in ragione della quantità di calorico che in un dato tempo penetra nel liquido, e varia secondo le diverse circostanze che possono aumentare o diminuire una tale quantità di calorico. Queste circostanze, trattandosi di un liquido posto a bollire sul fuoco, si possono ridurre alle tre seguenti: l'attività del fuoco, la natura e la grossezza delle pareti del vaso, e l'estensione della superficie liquida che riceve l'azione del fuoco.

(*) Biot, *Traité de Physique*, t. I, p. 329.

L' attività del fuoco dipende in parte dalla disposizione del fornello, e in parte dalla natura del combustibile (§ 405).

Le pareti del vaso ricevono tanto meglio il calorico e tanto meglio il trasmettono al liquido internamente contenuto, quanto più l' esteriore superficie è assorbente, e quanto più la materia delle pareti stesse è conduttrice e sottile.

A proporzione che è più grande l' estensione della superficie esposta al fuoco, maggiore è la quantità di calorico che la caldaja riceve; e similmente a proporzione che sono più numerosi i punti di contatto fra esso liquido e le pareti riscaldate, più facilmente vien questo calorico comunicato all' acqua o al liquido che dee bollire. La vaporizzazione è dunque tanto più abbondante quanto più sono estese le superficie che il vaso tiene in contatto col fuoco e col liquido. Si è trovato approssimativamente che a un fuoco attivissimo e in favorevolissime circostanze per ogni decimetro quadrato di superficie di contatto fra l' acqua e il vaso, evapora di questo liquido un chilogrammo per ora; ma ordinariamente, non essendo sì favorevoli le circostanze, non si ha che la metà o il terzo dell' effetto, e però possiamo far calcolo che per ogni decimetro quadrato si ottenga un chilogrammo di vapore ad ogni due o ad ogni tre ore (*).

736. Ponendo sul fuoco un vaso che contenga dell' acqua, e che abbia un' apertura molto piccola, si trova che la temperatura di quest' acqua s' alza sopra i +100°C. anche di parecchi gradi. Ecco i risultamenti di alcune sperienze fatte su questo proposito; però è da notarsi che i gradi indicati possono variare col cangiarsi dell' attività del fuoco.

(*) Pouillet, *Élémens de Physique*, t. I, p. 357. Vedi altresì più sopra al § 565.

Temperatura dell'acqua nel vaso	Proporzione fra la superficie dell'apertura e la superficie dell'acqua esposta all'azione del fuoco.
100° C.	$^1/_{1000}$, e al di sotto
105	$^1/_{5000}$
115	$^1/_{10000}$
138	$^1/_{20000}$

La ragione è facile a comprendersi. Trovando difficoltà il vapore a uscire da quelle piccole aperture, e a dissipare il calorico comunicato dal fuoco all'acqua, va la temperatura di questa gradatamente elevandosi, va aumentandosi la forza evaporante della medesima, e insieme va crescendo la forza espansiva del vapore, come anche la velocità con cui esso esce, e ciò fino a quel punto che per l'aumentata velocità arrivi esso vapore a dissipare mano mano tutto il calorico suddetto; ed è chiaro che quanto più piccola è l'apertura tanto maggior velocità dee acquistare il vapore e tanto più caldo dovrà rendersi il liquido.

La quantità di vapore che esce in un dato tempo da tutte queste aperture sembra essere la medesima (*); il che sarebbe una conseguenza del fatto osservato da Desormes e Clement, secondo i quali per dissipare una data quantità di calorico si esige sempre la perdita di una medesima quantità di vapore, sia qualsivoglia la sua temperatura, purchè esso sia denso a saturazione.

737. Se il vaso è interamente chiuso, l'acqua (e così pure qualsivoglia altro liquido) si può riscaldare fino

(*) Pouillet, *Élémens de Physique*, t. I, p. 353.

a qualsivoglia temperatura, ed anche fino al calor rovente; però non conviene spingere il calore sino a questo segno pel grande pericolo cui si andrebbe incontro. Un siffatto riscaldamento sopra l'ordinaria temperatura dell'acqua bollente si osserva nella così detta *Marmitta di Papin*, la quale essendo chiusa da un robusto coperchio a tenuta d'aria, non può perdere nè il vapore nè il calorico che seco fuggirebbe allo stato latente. Anzi l'acqua non vi bolle nemmeno, bastando l'evaporazione superficiale a tenere il vano della pignatta sempre saturo di vapore, e a mantenere in tutte le temperature la forza espansiva di quest'ultimo quasi a perfetto equilibrio colla forza evaporante dell'acqua stessa (non però perfettissimo durante il progresso del riscaldamento, perchè allora sarebbe impedita anche l'evaporazione superficiale); e così l'ebullizione o non avviene del tutto o soltanto si formano delle scarse bolle di tempo in tempo. Serve questa pignatta a estrarre in brevissimo tempo i sughi nutritivi dalle ossa e da altre sostanze animali; ma è d'uopo usarla con molta precauzione perchè non iscoppii.

738. *Fenomeni presentati da diverse sostanze.* Anche l'ebullizione presenta nelle varie sostanze alcune singolarità. Una di queste è quella stata osservata dal Bellani nell'olio di trementina. Comincia questo liquido a bollire verso i +100°R. (+125°C.), e continuando a stare esposto al calore seguita a riscaldarsi, sempre bollendo, sino oltre i +130°R. (+152° 1/2 C.); e a qualsivoglia temperatura ch'egli si trovi, se viene tolto dal fuoco, cessa immediatamente dal bollire, ma bolle di nuovo appena che si torni a rimettervelo; talchè trovandosi fra i suddetti gradi 100, e 130, esso bolle ogni volta che lo si faccia maggiormente scaldare, e cessa ogni volta che lo si lasci raffreddare. E di questa proprietà partecipano in qualche grado anche altri

olii. Ma per più ampie notizie intorno a ciò vuol essere consultata la memoria del Bellani (1).

739. L'ebullizione di alcune sostanze organiche liquide, p. e. quella degli olii fissi, è accompagnata da qualche decomposizione; di maniera che facendo distillare queste sostanze, si ottengono de' prodotti alquanto differenti dai liquidi originarii. Questi olii in generale danno origine nella loro ebullizione a uno sviluppo di idrogeno carburato che conserva lo stato aeriforme, e lasciano un piccolo residuo carbonoso. La parte distillata, quella cioè che riacquista lo stato liquido dopo essere divenuta aeriforme, si trova dotata di un odor penetrante e d'un colore giallo carico (2).

740. Quando si fa bollire un composto di più sostanze chimicamente mescolate, come sarebbe acqua con alcool, acqua con acido solforico, acqua con un sale disciolto, ec., se è volatile solamente uno de' componenti, si vaporizza questo, e l'altro o gli altri rimangono indietro; e così si depura e si rettifica il liquido volatile, e nello stesso tempo si concentra o si disecca la sostanza fissa o le sostanze fisse che seco stavano mescolate. Se in vece fra le sostanze mescolate ve n'ha parecchie che sieno volatili, queste si vaporizzano tutte, ma in diversa proporzione, secondo la loro più o men grande volatilità. Dal che trae origine un metodo per separare fino a un certo punto anche queste sostanze, quello cioè della distillazione; però a compiere la separazione conviene ricorrere altresì ad altri mezzi. Depuriamo, p. e., colla distillazione l'alcool dall'acqua, e lo rendiamo poscia rettificatissimo facendone assorbir l'acqua residua da un sale deaquificato, qual sarebbe il muriato di calce secco (cloruro di calcio). I vapori poi che risultano da questi liquidi insieme mescolati formano anch'essi una semplice mescolan-

(1) *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1809, p. 507 e seg.
(2) Thénard, *Chimie*, ediz. 1821, t. III, p. 241.

za, come avviene di quei gas che non hanno fra loro chimica azione.

741. Aggiungendo dell'acqua all'alcool rettificato, il termine dell'ebullizione si eleva assai meno di quello che parrebbe dalla quantità dell'acqua aggiunta. L'alcool della densità 0,8151 (a +9° C.) bolle alla temperatura di +79°,7 C. (1). Mescolato colla metà acqua e ridotto alla densità 0,91, si trova che per bollire non ha bisogno di +90° C., come parrebbe, ma di soli +81°,5. Ed anzi le prime dosi di acqua che si aggiungono all'alcool rettificatissimo non fanno elevare sensibilmente la temperatura necessaria all'ebullizione.

742. La distillazione dell'acido solforico ne' vasi di vetro era altre volte un'operazione lunga e difficile e accompagnata dal pericolo di rompere facilmente i recipienti, potendo con facilità questo liquido oltrepassare di parecchi gradi il punto della propria ebullizione, e fare quindi degli slanci improvvisi o delle esplosioni come abbiamo veduto avvenire dell'acqua fatta bollire sotto l'olio. Ora Gay-Lussac ha trovato da pochi anni il modo di rendere questa distillazione ugualmente facile come quella dell'acqua; e il mezzo sta soltanto nel mettere entro la storta de' sottili fili di platino. Questi agevolano l'ebullizione dell'acido, nel modo che fa qualsivoglia filo metallico riguardo all'acqua, e impediscono che abbian luogo esplosioni, quando però non si formi qualche deposito al fondo della storta. L'acido distilla senza interruzione e l'operazione non esige veruna diligenza particolare (2).

Tavola delle Temperature alle quali diventano aeriformi diverse sostanze.

743. Il carbone e le terre pure, sostanze di cui abbiamo veduto essere difficilissima la fusione, come

(1) Gay-Lussac citato da Biot nel *Traité de Phys.*, t. I, p. 534.
(2) *Annales de Chimie et de Phys.* t. VII, p. 313.

altresì i metalli meno fusibili qual sarebbe il platino, pare che abbiano di gran lunga ancor più difficile la volatilizzazione e l'ebullizione; quindi è che col calore non si è potuto peranco ottenere in essi questo passaggio: si ritiene però dai Fisici che anche questi vi si presterebbero se noi possedessimo de' mezzi abbastanza possenti per isviluppare ed accumulare calorico. Sembra a vero dire che le fortissime correnti elettriche riescano a volatilizzare il carbone; ma è incerto se il facciano semplicemente pel calore che producono, ovvero col soccorso altresì di qualche altro modo d'agire del fluido elettrico (1).

Alcuni metalli si possono far volatilizzare per mezzo di un calore fortissimo ajutato dalla corrente di un gas che via trasporti il vapore; a quello stesso modo che coll'agitazione dell'aria si promuove l'evaporazione dell'acqua. Così avvien leggerissimamente dell'oro, e più sensibilmente dell'antimonio, del sodio, del bismuto (2), e probabilmente dell'argento (3).

Altri metalli passano allo stato aeriforme senza il soccorso della corrente suddetta. Ciò succede dello zinco al di sopra del calor rovente, cioè sopra i +450°R. (+560°C.); il potassio si converte in vapori violetti poco al di sotto di un tal grado di calore; l'arsenico si volatilizza prima di fondersi, incominciando dai +144°R. (+180°C.)

Tutti questi poi passano allo stato aeriforme, coi mezzi sopra indicati, per semplice evaporazione o esalazione. Nelle sostanze che seguono ha luogo anche l'ebullizione, la quale, indicando il barometro 28 pollici di pressione, succede alle temperature qui sotto indicate.

(1) Veggasi su questo soggetto il t. XXIV degli *Annales de Chimie et de Physique*, p, 216, dove si trovano registrate diverse sperienze sulla fusione e sulla volatilizzazione del carbone, dell'antracite e della piombaggine, fatte dal Prof. Silliman.

(2) Thénard *Chimie*, ediz. 1821, t. I, p. 265 e 267.

(3) *Annales de Chimie et de Phys.* t. XLI, p. 250.

Mercurio, comincia a dar segni sensibili di evaporazione fra +15°,5 C. e +26°,7 (1), e bolle a. .	+280°R.	+350°C.	(2)
Olio di lino circa a	253 . . .	316	(3)
Acido solforico, alle temperature ordinarie non dà segno di evaporazione, e bolle a.	248 . . .	310	(3)
Idem.	245 . . .	306	(4)
Zolfo	239 . . .	299	(3)
Olio di trementina . .	da 100 a 130,	da 125 a 163	(5)
Acqua distillata, evapora sensibilmente anche al di sotto di —41°C., e bolle a .	80°,000 . .	100	
Alcoòl (densità a +9° C. 0,8151)	63,8 . . .	79,7	(3)
Sulfuro di carbonio	36	45	(3)
Etere solforico (densità a +9°C. 0,7365)	30,2 . . .	37,8	(3)
Etere nitrico	17	21	(6)
Etere muriatico	9	11	(7)

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXXV, p. 188.

(2) Petit e Dulong *Annales de Chimie et de Physique*, t. VII, p. 120. Questa però è la temperatura data da un termometro ad aria: il termometro a mercurio diede +360°C. equivalenti a +288°R. Bellani (*Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1809, p. 505) trova +275°R. equivalenti a +344C.; ma mi sembra troppo scarsa la correzione di 3 soli gradi di Réaumur fatta da lui alle indicazioni dello strumento, per la parte del tubo non immersa nel mercurio bollente.

(3) Biot, *Traité de Physique*, t. I, p. 534.

(4) Bellani nel *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1809, p. 528. Forse questa determinazione è al di sotto del vero di tre o quattro gradi per la ragione detta or ora nella nota (2).

(5) *Ibid.* p. 518 e seg.

(6) Thénard, *Chimie*, t. III, p. 334.

(7) *Ibid.* p. 329.

Il gas acido solforoso, il gas acido carbonico, l'idrogeno sulfurato, il cloro ed altri gas, che dal sig. Faraday in questi ultimi tempi si sono potuti ridurre allo stato liquido ma però col mezzo di fortissime pressioni e con de' freddi artificiali, debbono avere assai sotto a 0° C. il punto dell'ebullizione, ossia il grado di temperatura a cui basta la sola ordinaria pressione atmosferica a tenerli liquidi.

Più basso ancora debb' essere questo punto per l'aria comune, la quale non si è potuta ridurre allo stato liquido se non colla enorme pressione di circa 1200 atmosfere (vedi t. I, § 52). E ancor più per quei gas, come sarebbe l'idrogeno, i quali non sonosi per anco potuti far passare allo stato liquido.

CAPO XII.

DELLE PROPRIETÀ DE' VAPORI

Delle proprietà de' vapori nel vacuo, e in ispecie della loro forza espansiva.

744. Avanti le sperienze del sig. Faraday si facevano de' fluidi aeriformi due classi essenzialmente distinte; nell'una comprendevansi tutti quelli la cui sostanza non si conosceva che allo stato aeriforme, e questi chiamavansi *fluidi aeriformi permanenti* ovvero *gas*; nell'altra in vece si riponevano quelli che nascono dal passaggio allo stato aeriforme di diverse sostanze che si conoscevano anche in altro stato, e questi si appellavano *fluidi aeriformi non permanenti o vapori.*

Presentemente essendosi diversi gas potuti rendere liquidi, questa distinzione non sarebbe più rigorosa. Nulladimeno per nostra comodità, e finchè migliori

motivi non ci consiglino altrimenti, noi continueremo a ritenerla; e chiameremo *vapori* o *fluidi aeriformi non permanenti* quelli fra questi fluidi da' quali si può avere il liquido corrispondente alle ordinarie pressioni e temperature, cioè a pressioni non maggiori di 28 pollici di mercurio, e a temperature non inferiori a 0°C.; e conserveremo agli altri il nome di *gas* o di *fluidi aeriformi permanenti*, siccome quelli che non sogliono mostrarcisi che allo stato aeriforme, e che colle alternative delle temperature dell'atmosfera non manifestano quelle continue condensazioni e volatilizzazioni che veggiamo nei primi.

Del resto, ad eccezione di questa mutabilità di stato, i vapori posseggono le medesime proprietà che si osservano ne' gas, siccome ora passiamo a vedere.

745. Prima di tutto, a paragone de' solidi e dei liquidi, essi sono leggierissimi, quali pesando meno dell'aria e quali non molto di più, come avviene anche dei gas. Il vapore acqueo pesa rispetto all'aria come 0,620 a 1, ossia prossimamente come 5 a 8; il vapore dell'alcool assoluto è più pesante di essa come 1,6133 a 1.

I vapori si assomigliano ai gas nella trasparenza. Il vapore acqueo, quando ha il vero stato aeriforme, ossia lo stato, come si suol dire, di vapore invisibile, è trasparente al pari dell'aria, e mescolato con essa non ne altera sensibilmente la diafaneità; solamente la totale massa dell'atmosfera perde per esso del suo azzurro e diviene alquanto bianchiccia (*).

Godono essi al pari dei gas della facoltà di espandersi. Si supponga che in un vaso ben chiuso si contenga una massa o di vapore acqueo o di vapore alcoolico o di altro qualsivoglia fluido aeriforme non permanente il quale si trovi solo dentro al vaso, e che questo vaso venga ad estendersi nella capacità, senza

(*) Saussure, *Voyages dans les Alpes*, § 2083.

che sia lasciato accesso all'aria esteriore, e colla precauzione che la temperatura sia mantenuta al medesimo grado; questo vapore si aumenterà con ciò successivamente di volume, e terrà sempre riempiuta tutta la capacità del vaso, ancorchè ella crescesse le migliaja di volte da quello che era primitivamente.

E sono dotati di forza espansiva a somiglianza dei gas. Si riempia di mercurio un tubo di vetro da barometro, aggiungendo una piccola massa di etere solforico che ricopra il mercurio, e quindi lo si capovolga in una vaschetta piena pure di mercurio; si vedrà che dopo il capovolgimento l'etere ascenderà sino alla sommità del mercurio, che ivi una parte di esso si convertirà in vapore, e che questo colla sua forza espansiva farà deprimere il mercurio per molti pollici. Lo stesso farà lo spirito di vino, ma in minor grado attesa la minor forza espansiva che ha il suo vapore alle temperature ordinarie; e lo stesso farà anche l'acqua, ma in un grado ancora più piccolo.

746. Ma ciò che compie la rassomiglianza fra le due classi di sostanze aeriformi si è l'identità delle leggi secondo cui variano le loro forze espansive o per cangiamento di volume o per cangiamento di temperatura.

Supposto che si abbia una massa di vapore contenuta in un vaso senza che si trovi insieme nè del liquido della medesima natura nè veruna altra sostanza, se si aumenta la capacità di questo vaso riducendola al doppio, al decuplo, al centuplo, però operando in modo che la temperatura non si cangi, la forza espansiva del vapore viene a scemare divenendo rispettivamente la metà, il decimo, il centesimo di quello ch'ella era primitivamente. Avviene il contrario se il vaso si restringe; solamente però fino tanto a che il vapore si conserva tutto allo stato aeriforme senza che ne passi veruna quantità allo stato liquido: se cioè si riduce esso vapore alla metà volume, al terzo, ec.

senza che in parte si liquefaccia, la forza espansiva diviene grande il doppio, il triplo, ec.; il che è quello appunto che ha luogo nei gas e che si appella *la legge di Mariotte.*

Regge la rassomiglianza anche nei cangiamenti di temperatura. Se un vaso inestensibile il quale contenga soltanto del vapore di una data sostanza, e che si trovi, p. e., a $+10^{\circ}$C., venga riscaldato successivamente a $+11^{\circ}$C., a $+12^{\circ}$, . . . a $+100^{\circ}$, la forza espansiva di quel vapore andrà con ciò successivamente aumentandosi nella ragione de' numeri $276\frac{2}{3}$, $277\frac{2}{3}$, $278\frac{2}{3}$, . . . $366\frac{2}{3}$, rispettivamente, vale a dire colla stessa legge che si osserverebbe in una massa d'aria posta nelle medesime circostanze. E viceversa, se quella massa di vapore verrà raffreddata e portata a $+9^{\circ}$C., a $+8^{\circ}$, ec. scendendo fino all'ultimo grado a cui può mantenersi tutta allo stato aeriforme, la forza espansiva diminuerà prendendo grandezze rappresentate dai numeri $275\frac{2}{3}$, $274\frac{2}{3}$, ec. rispettivamente.

In generale le variazioni del volume e della temperatura inducono nella forza espansiva di un vapore quelle stesse mutazioni ch'esse possono produrre in quella d'una massa d'aria asciutta o di un qualsivoglia gas; semprechè però la quantità di vapore rimanga la medesima, non passandone alla liquidità veruna stilla nè veruna nuova quantità aggiungendosene.

747. Quello in che i vapori sogliono differire dai gas si è, che laddove di questi ultimi in un determinato spazio e ad una temperatura determinata può contenersi una qualsivoglia quantità (salvo il caso che la condensazione non si renda eccessivamente grande), de' primi in vece non può capirvene oltre ad una quantità determinata. In una capacità di un metro cubico, alla temperatura, p. e., di $+20^{\circ}$C. non può contenersi più di 17,02 grammi di vapore acqueo. Se essendovene questa quantità, noi tentiamo di introdurvene

ancora, non può tutto sussistere allo stato aeriforme, ma conviene o che la quantità che si introduce passi immediatamente allo stato liquido o che si converta in liquido altrettanta quantità del vapore preesistente; e così nè la densità nè la forza espansiva può minimamente aumentarsi. E se nella detta capacità, supposta prima affatto vuota, noi introduciamo una piccola massa di acqua, questa viene ad evaporare precisamente fino alla sola quantità di 17,02 grammi, crescendo la forza espansiva fino a tanto che cresce la densità e nella medesima ragione di questa.

La causa di questo limite sta nella forza evaporante. Nel caso della piccola massa d' acqua introdotta nel vaso voto, continua essa ad evaporare per tutto il tempo che la sua forza evaporante supera la forza espansiva del vapore che ella ha già somministrato: in fatti le molecole liquide più superficiali sono allora scacciate più possentemente verso l' alto da questa forza, che non premute e ricacciate indietro dalla forza espansiva del vapore. Ma arrivata la densità del vapore al punto che la forza espansiva di esso uguagli la forza evaporante, non può più quest' ultima far progredire l'evaporazione. Che se mai venisse a trovarsi, per un supposto, una quantità di vapore più grande, sarebbe allora più grande la forza espansiva di esso vapore che non la forza evaporante dell' acqua, e lo strato di molecole vaporose contiguo all' acqua dovrebbe nuovamente unirsi alla massa liquida, e così il successivo, ec. fino a che fosse restituito l' equilibrio fra le due forze. Non è difficile il dimostrarlo anche pel caso che si introduca in un vaso del vapore già bello e formato. Se in questo vaso si introducesse tanto vapore che la sua *tensione* o forza espansiva superasse la forza evaporante che ha il corrispondente liquido a quella temperatura, questa tensione ajutata in sul principio dall' attrazione delle pareti, farebbe deporre su queste le molecole vaporose a loro contigue, for-

mando un velo liquido su tutta la superficie interna del vaso; nè potrebbe la forza evaporante di questo velo liquido opporsi alla successiva e continua deposizione di tali molecole, se non dopo che, per lo rarefarsi del vapore, la tensione suddetta si fosse ridotta uguale alla forza evaporante. Non così avverrebbe quando nel vaso si introducesse poco vapore, cioè in tale quantità che la sua tensione non arrivasse ad uguagliare la forza evaporante; in questo caso non se ne potrebbe deporre che un sottilissimo velo in sul principio, come vedremo più innanzi parlando dell'umidità atmosferica (§ 811), ma un grosso velo non potrebbe formarsi, perchè la sua forza evaporante non bilanciata il restituirebbe allo stato aeriforme.

Quando in un dato spazio si trova la massima quantità di vapore che a quella temperatura possa esservi contenuto, si dice che esso vapore è al suo punto di *saturazione*.

748. Questo limite della densità di un dato vapore è diverso secondo le temperature, potendo alle temperature elevate contenersi in un dato spazio maggior copia di vapore che non alle temperature basse. Perciocchè se viensi a elevare la temperatura di uno spazio inestensibile ove sia contenuta una qualche sorta di vapore con una certa quantità del liquido della medesima natura, cresce per questo riscaldamento tanto la forza espansiva del vapore quanto la forza evaporante del liquido, ma assai più quest'ultima che non la prima; onde se precedentemente avevasi equilibrio fra le due forze, dopo non si ha più, e perciò evapora un'altra parte del liquido insino a che coll'aumentarsi della forza espansiva del vapore siasi l'equilibrio nuovamente ricomposto. Avverrebbe squilibrio in modo contrario pel raffreddamento, e una porzione del vapore dovrebbe deporsi fino a che fosse tornato l'equilibrio.

749. Da ciò segue che in un vaso il quale si vada

gradatamente riscaldando e che si tenga continuamente saturo di una data qualità di vapore, la forza espansiva di quest'ultimo dovrà aumentarsi per due cagioni, cioè e per l'aumento della temperatura e per l'aumento della densità. Supponiamo per un esempio che si tratti di vapore acqueo, e che la temperatura passi da $+20^{\circ}$C. a $+40^{\circ}$C. (da $+16^{\circ}$R. a $+32^{\circ}$R.); la forza espansiva del vapore preesistente che era di millimetri 17,275 di mercurio, crescerà per la temperatura come $[266\,2/3 + 20]$ a $[266\,2/3 + 40]$, e diverrà di millimetri 18,48; e crescendo inoltre la densità come 1702 a 4873, questa aumentata forza espansiva s'ingrandirà di nuovo appunto come 1702 a 4873, e da millimetri 18,48 diverrà di millimetri 52,9. Si aumenterà adunque la forza espansiva di quel vapore con una legge molto più rapida che non quella di un gas il quale non potesse per la temperatura aumentarsi di densità.

750. *Osservazione.* Quando il vaso ove si introduce il vapore non è tutto ad una stessa temperatura, in questo caso il vapore si addensa maggiormente in vicinanza delle pareti più fredde, e rimane più raro presso quelle più calde, di tal maniera che la forza espansiva sia dappertutto la medesima, venendo le differenze che potrebbero nascere dalla ineguaglianza delle temperature, esattamente compensate dalla opportuna diversità della densità. Succede precisamente lo stesso, come allorquando l'aria atmosferica si rende in qualche luogo più fredda o più calda che negli altri luoghi circonvicini; fassi ella ivi rispettivamente o più densa o più rara, ma conserva la medesima forza espansiva. Se poi la successiva introduzione del vapore fa che questo nella parte più fredda del vaso giunga al punto di saturazione, in tal caso una nuova introduzione ne farebbe deporre in questo luogo una parte allo stato liquido, insino a che egli avesse quivi precisamente la densità e la forza espansiva corrispondente alla sa-

turazione; e questa medesima forza espansiva si avrebbe eziandio in tutte le altre parti della massa del vapore sì dove ella è più calda che dove lo è meno, poichè ogni leggierissima diversità in questa forza farebbe muovere velocemente il vapore verso quella parte ove essa forza fosse minore. Possiamo adunque ammettere il teorema, che *una massa di vapore equilibrata dentro un vaso di temperatura non uniforme, ha ne' suoi diversi punti una ineguale densità ma una medesima forza espansiva, e la massima grandezza a cui questa forza espansiva può arrivare è quella che viene permessa dalla temperatura minima.*

751. *Misura della forza espansiva del vapore acqueo alla densità della saturazione.* Non potendosi conoscere *a priori* secondo qual legge si aumenti, coll'elevarsi delle temperature, la densità de' vapori entro ad uno spazio che si tenga sempre da essi saturato, noi non possiamo sapere che dalla sperienza la legge secondo cui va crescendo in questo caso la loro forza espansiva. Della quale ultima legge essendo molto importante la cognizione riguardo ai vapori acquei, attese le loro numerose applicazioni, si sono diversi Fisici accinti a rintracciarla in varii modi.

Per determinare questa forza espansiva del vapore acqueo alle diverse temperature fra la fusione del ghiaccio e l'ebullizione dell'acqua, serve la maniera seguente. Prese due canne barometriche uguali, si riempie l'una di mercurio facendovelo bollire come si usa nella costruzione de' barometri; nell'altra si fa bollire dell'acqua, affinchè si possa lasciarvene una piccola quantità ben purgata d'aria, e poi vi si pone similmente del mercurio fino a riempirla; si capovolgono quindi entrambe in una medesima vaschetta piena di mercurio, con che l'acqua rimasta aderente alle pareti della seconda canna si reca verso la sommità della canna stessa, formando un sottile strato sopra il mercurio e in parte convertendosi in vapore; poi si ripongono insieme

colla vaschetta in un vaso cilindrico di vetro pieno d'acqua, e si scalda quest'ultima gradatamente, e si osserva la differenza fra le altezze del mercurio nelle due canne corrispondentemente alle diverse temperature.

Per le temperature inferiori a 0°, si fa che la canna ove ha da formarsi il vapore sia superiormente incurvata ad angolo acuto, di maniera che la estremità ripiegata si possa introdurre in una mescolanza frigorifica di conosciuta temperatura; e si tralascia il vaso cilindrico dell'acqua. Il vapore acqueo che si solleva dallo strato liquido sovrastante al mercurio va a condensarsi nella parte collocata dentro il mescuglio frigorifico in sino a che la forza espansiva in tutta la capacità vota si riduca uguale alla forza evaporante che ha il ghiaccio alla temperatura del mescuglio medesimo, cosa che arriva subito dopo che lo strato liquido è interamente evaporato, cioè subito dopo che il vapore cessa di trasportar calorico alle interne pareti della parte di tubo immersa nel mescuglio suddetto. E la misura di questa forza espansiva, la quale è quella stessa che avrebbe luogo quando tutto il vacuo della canna fosse alla temperatura del mescuglio, è data anche in questo caso dalla diversità d'altezza dei due barometri.

Finalmente se la temperatura è superiore al grado dell'ebullizione dell'acqua, può servire il metodo seguente, che è quello stato adoperato da Arago e Dulong in alcune sperienze da essi recentemente eseguite per ordine dell'Accademia delle Scienze di Parigi (*). Fecero essi che una robusta caldaja A (fig. 19) di grossa lamina di ferro, ove si sviluppava il vapore, comunicasse per di sopra, mediante una forte canna di ferro B, con un robusto recipiente C di ferro fuso

(*) *Annales de Chimie et de Physique*, an. 1830, t. XLIII, p. 74 e *seg.*

ripieno superiormente, insieme colla canna, di acqua, e inferiormente di mercurio. Questo recipiente comunicava dalla parte inferiore con un manometro vale a dire con una canna verticale D di vetro, contenente dell' aria secca, chiusa superiormente e inferiormente aperta, di maniera che dalla inferiore estremità poteva entrarvi parte del mercurio, essendo però essa canna aggiustata per modo col recipiente da non lasciar trapelare dalla commessura nè aria nè mercurio nè altro. L'altezza del mercurio nel recipiente C era palesata da un'altra canna di vetro E comunicante sì inferiormente che superiormente con esso recipente C per mezzo di canne metalliche. Per misurare le temperature dentro la caldaja, si erano introdotte in questa, da due buchi praticati nel coperchio, due canne da fucile F, F' chiuse inferiormente e ripiene di mercurio e appena di tale grossezza da poter resistere alla pressione del vapore. Nella canna F più lunga che pescava nell' acqua della caldaja suddetta si trovava un termometro destinato a misurare la temperatura di quest' acqua; e siccome una notabil parte del tubo di esso termometro doveva necessariamente star fuori della caldaja onde lasciar visibili le sue indicazioni, così per sapere la vera temperatura di questa parte di tubo e fare alle indicazioni dello strumento la debita correzione (§ 654), veniva essa parte tenuta per quasi tutta la sua lunghezza entro un cilindro di vetro H ove entrava continuamente dell' acqua e dove si trovava un altro termometro *k*. L'altra canna più corta F' che non arrivava a toccar l'acqua, conteneva essa pure un termometro; e questo era destinato a manifestare la temperatura del vapore, ed aveva una parte del tubo tenuta similmente entro un cilindro di vetro simile a quello indicato da H, ma che nella figura si è ommesso per non imbarazzarla. Servivano poi evidentemente le suddette canne F, F' a riparare i termometri dalla pressione del vapore, la quale avrebbe potuto alterarne di

molti gradi le indicazioni. Un filo d'acqua entrava anche nel cilindro M che conteneva il manometro D, e un termometro *n* misurava la temperatura di quest'acqua e in conseguenza quella altresì dell'aria racchiusa nel manometro.

Così disposte le cose, i due sperimentatori sottoponevano il fuoco alla caldaja, e cominciavano con un po' d'ebullizione a far uscir tutta l'aria, salvo quella del manometro, da un'apertura che poscia si chiudeva mediante la così detta *valvula di sicurezza;* quindi posta nel fornello una quantità di combustibile che bastasse a recare la temperatura della caldaja prossimamente sino a quel punto che si erano proposti, lasciavano che l'acqua a poco a poco si scaldasse, e che quindi, dopo rimasta qualche tempo stazionaria, pel consumarsi del combustibile tornasse nuovamente a raffreddarsi; e prendevano nota così delle indicazioni del manometro come di quelle de' varii termometri allorquando la temperatura del vapore e la sua forza espansiva si mostravano vicine al loro massimo valore, onde poterne cogliere il valor preciso al punto del massimo medesimo; il che essi facevano perchè intorno al suddetto massimo le variazioni di tutte queste indicazioni erano lentissime, talchè i termometri contenuti in F e in F' potevano dare esattamente la temperatura dell'acqua e del vapore acqueo, e il manometro D colla più o men grande condensazione dell'aria contenutavi, fatte le opportune correzioni dipendenti dalla temperatura di quest'aria, dalla pressione del mercurio contenuto in D e in C, e dalla pressione dell'acqua contenuta in C e in B, poteva manifestare con tutta l'esattezza le corrispondenti forze espansive del vapore acqueo. Le indicazioni de' suddetti due termometri in F e in F' erano sensibilmente concordi; siccome però vi erano sempre delle leggierissime discordanze, così i due sperimentatori, per certe considerazioni che si possono leggere nella

loro memoria, si attenevano piuttosto al termometro che aveva il corrispondente tubo di ferro immerso nell' acqua. Finita poi un' osservazione, tornavano ad aggiungere combustibile per farne un' altra.

752. Ecco una tavola delle forze espansive o *tensioni* del vapore acqueo corrispondentemente ai diversi gradi del termometro centigrado a mercurio, di quello cioè fondato sulle dilatazioni apparenti di questo liquido (il che è necessario avvertire per le temperature superiori a $+100°$C.). Si sono aggiunte le pressioni che possono essere prodotte da questa tensione sopra un centimetro quadrato di superficie, come altresì le densità corrispondenti; le quali cose come si sieno potute ricavare il soggiungeremo dopo la tavola.

TAVOLA

Della massima tensione del vapore acqueo alle diverse temperature, della sua corrispondente pressione sui corpi, e della sua corrispondente densità.

Gradi del termometro centigrado	Tensione del vapore, in millimetri di mercurio.	Pressione sopra un centimetro quadrato, in chilogrammi	Densità del vapore rispetto all'acqua liquida a 0°	Gradi del termometro centigrado	Tensione del vapore, in millimetri di mercurio.	Pressione sopra un centimetro quadrato, in chilogrammi	Densità del vapore rispetto all'acqua liquida a 0°
—20°	1,333	0,0018	0,00000153	22°	19,417	0,0265	1900
—19	1,429			23	20,377	0,0281	2067
—18	1,531			24	21,800	0,0297	2119
—17	1,638			25	23,090	0,0314	0,00002236
—16	1,755			26	24,449	0,0334	2360
—15	1,879	0,0026	0,00000211	27	25,881	0,0353	2490
—14	2,011			28	27,390	0,0374	2626
—13	2,152			29	28,977	0,0396	2769
—12	2,302			30	30,650	0,0418	0,00002919
—11	2,461			31	32,410	0,0440	3076
—10	2,631	0,0036	0,00000290	32	34,261	0,0465	3241
— 9	2,812			33	36,206	0,0492	3413
— 8	3,005			34	38,254	0,0520	3594
— 7	3,210			35	40,404	0,0549	0,00003784
— 6	3,428			36	42,663	0,0581	3982
— 5	3,660	0,0050	0,00000395	37	45,038	0,0612	4190
— 4	3,907			38	47,530	0,0646	4408
— 3	4,170			39	50,147	0,0681	4635
— 2	4,448			40	52,891	0,0720	0,00004873
— 1	4,745			41	55,772	0,0758	5121
0	5,059	0,0069	0,00000536	42	58,792	0,0799	5381
+ 1	5,393	0,0074	569	43	61,958	0,0842	5653
2	5,748	0,0078	604	44	65,275	0,0887	5936
3	6,123	0,0084	641	45	68,751	0,0934	0,00006232
4	6,523	0,0089	681	46	72,393	0,0983	6541
5	6,947	0,0094	0,00000722	47	76,208	0,1035	6864
6	7,396	0,0101	766	48	80,195	0,1090	7200
7	7,871	0,0107	813	49	84,370	0,1146	7551
8	8,375	0,0114	861	50	88,734	0,1206	0,00007917
9	8,909	0,0122	913	51	93,301	0,1268	8298
10	9,475	0,0129	968	52	98,072	0,1333	8695
11	10,074	0,0137	0,00001025	53	103,06	0,1400	9109
12	10,707	0,0146	1085	54	108,27	0,1471	9539
13	11,378	0,0155	1149	55	113,71	0,1545	9987
14	12,087	0,0165	1217	56	119,39	0,1622	0,00010453
15	12,837	0,0176	0,00001287	57	125,31	0,1703	1094
16	13,630	0,0186	1362	58	131,50	0,1787	1144
17	14,468	0,0197	1441	59	137,94	0,1874	1197
18	15,353	0,0209	1524	60	144,66	0,1965	0,00012511
19	16,288	0,0222	1611	61	151,66	0,2061	1308
20	17,275	0,0235	0,00001702	62	158,96	0,2159	1366
21	18,317	0,0250	1799	63	166,56	0,2264	1427

Gradi del termometro centigrado.	Tensione del vapore, in millimetri di mercurio.	Pressione sopra un centimetro quadrato, in chilogrammi	Densità del vapore rispetto all'acqua liquida a 0°.	Gradi del termometro centigrado a mercurio	Tensione del vapore, espressa in atmosfere da 760 millimetri di mercurio a 0°.	Pressione sopra un centimetro quadrato, in chilogrammi.
64°	174,47	0,2370	1491	100°	1	1,033
65	182,71	0,2482	0,0001556	112,2	1,5	1,549
66	191,27	0,2599	1624	121,4	2	2,066
67	200,18	0,2720	1695	128,8	2,5	2,582
68	209,44	0,2845	1768	135,1	3	3,099
69	219,06	0,2976	1843	140,6	3,5	3,615
70	229,07	0,3112	0,0001922	145,4	4	4,132
71	239,45	0,3253	2003	149,66	4,5	4,648
72	250,23	0,3400	2087	153,08	5	5,165
73	261,42	0,3552	2174	156,8	5,5	5,681
74	273,03	0,3709	2264	160,2	6	6,198
75	285,07	0,3873	0,0002357	163,48	6,5	6,714
76	297,55	0,4043	2453	166,5	7	7,231
77	310,49	0,4218	2552	169,37	7,5	7,747
78	323,89	0,4400	2655	172,1	8	8,264
79	337,76	0,4589	2761	177,5	9	9,297
80	352,13	0,4783	0,0002870	181,6	10	10,330
81	367,00	0,4986	2982	186,03	11	11,363
82	382,38	0,5195	3098	190,0	12	12,396
83	398,28	0,5411	3218	193,7	13	13,429
84	414,73	0,5634	3341	197,19	14	14,462
85	431,71	0,5865	0,0003468	200,48	15	15,495
86	449,26	0,6104	3599	203,60	16	16,528
87	467,38	0,6350	3734	206,57	17	17,561
88	486,09	0,6604	3872	209,4	18	18,594
89	505,38	0,6866	4014	212,1	19	19,627
90	525,28	0,7136	0,0004161	214,7	20	20,660
91	545,80	0,7415	4311	217,2	21	21,693
92	566,95	0,7703	4465	219,6	22	22,726
93	588,74	0,7999	4625	221,9	23	23,759
94	611,18	0,8303	4788	224,2	24	24,792
95	634,27	0,8617	0,0004955	226,3	25	25,825
96	658,05	0,8940	5126	236,2	30	30,990
97	682,49	0,9274	5302	244,85	35	36,155
98	707,63	0,9614	5482	252,95	40	41,320
99	733,46	0,9965	5667	259,52	45	46,485
100	760,00	1,0325	0,0005856	265,89	50	51,650

753. In questa tavola le tensioni da 0° a +100°C. sono state determinate dal sig. Pouillet mediante una formola che Biot dedusse dalle sperienze di Dalton (1). Quelle da 0° a —20° si sono calcolate colla formola medesima, supponendo ch'ella valga anche pel vapore prodotto dal ghiaccio; quella però a —20° è stata verificata da una sperienza di Gay-Lussac (2). Quelle da +100°C. fino alle 24 atmosfere sono state determinate da Arago e Dulong per mezzo delle sperienze che abbiamo citate poco sopra (3). Quelle infine dalle 25 alle 50 atmosfere sono state calcolate dai medesimi due autori per mezzo di una formola che si è trovata rappresentare assai bene esse tensioni dalla 1 alle 24 atmosfere, e che si è supposta poter valere senza error sensibile fino alle 50 atmosfere. Una tale formola è la seguente

$$e = (1 + 0{,}00715\,3.\,t)^5$$

dove

e esprime la forza espansiva del vapore acqueo in atmosfere da 760 millimetri di mercurio a 0° ciascuna; e

t esprime la temperatura in gradi d'un termometro centigrado a mercurio, presi questi gradi partendo da +100°C. positivamente al di sopra, e negativamente al di sotto (4).

(1) Biot, *Traité de Physique*, t. I, p. 277 e 531. Nella tavola registrata dal Biot si trovano alcune piccole inesattezze, p. e. ai gradi 20, 36, 40, 44, 54, ec., come si può agevolmente riconoscere prendendo le differenze prime e seconde. Queste inesattezze, benchè io le credessi più piccole degli errori inerenti alla formola fondamentale, e alle sperienze originarie di Dalton, ho stimato di correggerle; il che ho voluto avvertire per norma di chi imprendesse a paragonare la mia tavola con quella del Biot.

(2) Biot, *Traité* ec., t. I, p. 287.

(3) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XLIII, p. 110.

(4) *Ibid.* p. 107. Questa formola non serve utilmente che alle temperature superiori a +100°C. Per pochi gradi sotto a +100° non è gran fatto inesatta; ma verso i +50° ella è già alquanto erronea. I due citati autori cominciano ad usarla nella determinazione delle tensioni del vapore alle 4 ½ atmosfere; e di qui è che la legge delle temperature mostra quivi un certo salto o irregolarità, come si scorge prendendo le differenze prime e seconde nella colonna di esse temperature. Si

I due chiar. Autori hanno preferito di indicare le temperature in gradi del termometro a mercurio, quali cioè vengono date dalla apparente dilatazione di questo liquido nel vetro, senza far la riduzione al termometro ad aria (§ 639); e ciò perchè essi non avevano già in mira di rintracciare la rigorosa legge della natura, ma bensì di formare una tavola che fosse utile ai bisogni delle arti, al quale oggetto riesce più comodo il termometro a mercurio graduato col dividere in parti uguali la dilatazione apparente di questo liquido. Sono espresse in gradi del termometro a mercurio anche le temperature inferiori a +100° C., essendo generale usanza, per siffatte temperature, di starsene alle sue indicazioni (§ 432).

Le pressioni registrate nella terza colonna, dal grado —20° C. al +100° C. si sono prese da una tavola del signor Pouillet (*), e sono state calcolate nel supposto che corrispondano grammi 1,3586 per ogni millimetro di tensione, vale a dire nella supposizione chè il mercurio a 0° abbia la gravità specifica 13,586. Da +100° C. in su sonosi prese dalla tavola calcolata da Arago e Dulong ed inserita nella loro memoria or ora citata.

Le densità che si veggono esposte nella quarta colonna sonosi ottenute nel modo seguente. Prima di tutto si è misurata la densità del vapore acqueo ad una determinata temperatura e ad una determinata tensione, al di sotto del punto di saturazione. Il che si è ottenuto introducendo un dato peso di acqua in un vaso di conosciuta capacità e provveduto di un *manometro* o misuratore delle deboli tensioni de' fluidi aeriformi, e osservando quanta fosse la forza espansiva del vapore prodotto da quest'acqua: un termometro indicava la temperatura di questo vapore, il manometro ne mostrava la forza espansiva, e il peso dell'acqua

incontra una piccola irregolarità anche alle 10 atmosfere, ove in luogo di gradi 181,6 la formola darebbe gradi 181,77; ma è cosa sì leggiera, che io non ho creduto di doverla rettificare.

(*) *Elémens de Physique*, t. I, p. 330. Ne' valori di queste pressioni da —20° a +100° C. si troverà qualche leggiera differenza fra la mia tavola e quella del sig. Pouillet, poichè ad alcuni numeri m'è parso di dover fare qualche piccola correzione.

introdotta paragonato colla capacità del vaso ne faceva conoscere la densità. Si ebbe l'avvertenza d'introdurre l'acqua in poca quantità, in guisa cioè che non bastasse a saturare di vapore il vaso; e ciò allo scopo che potesse ridursi tutta quanta in vapore. Con questo processo si è trovato da Gay-Lussac che la densità del vapore acqueo è 0,6235 di quella di una massa d'aria che a pari temperatura e a pari forza espansiva riempia il vaso medesimo. La dottrina dei volumi (T. I, p. 224) conduce a un risultamento quasi identico: secondo essa in fatti un volume di vapore acqueo risulta da un volume d'idrogeno e da mezzo volume di ossigeno, i quali essendo diffusi nello spazio occupato dal vapore acqueo avrebbero separatamente le densità 0,0688, e $^1/_2$ 1,1026; perciò la densità del vapore acqueo dev'essere secondo questo calcolo uguale a [0,0688 + 0,5513] ossia a 0,6201. E questo secondo risultamento si riguarda come ancor più esatto di quello dato direttamente dalla sperienza. Un tale rapporto poi fra la densità del vapore acqueo e quella dell'aria ha luogo a qualsivoglia altra tensione e a qualsivoglia altra temperatura; poichè per una data variazione di questi due elementi variano nella medesima proporzione tanto la densità dell'aria quanto quella del vapore acqueo.

Ciò posto, ecco in qual modo si ottiene la densità del vapore acqueo a qualunque sua temperatura e a qualunque sua tensione. Siccome alla temperatura 0°, e sotto la pressione di 760 millimetri di mercurio la densità dell'aria è $\frac{1}{770}$ di quella dell'acqua (§ 92), e siccome perciò essa aria trovandosi alla temperatura medesima, ma avendo la tensione di un solo millimetro di mercurio, ha una densità uguale a $\frac{1}{770.760}$ di quella dell'acqua; così la densità del vapore acqueo alla medesima temperatura 0°, e alla medesima tensione di un millimetro è uguale a $\frac{0,620}{770.760}$ di quella dell'acqua a 0°, ossia uguale a 0,000001 0595 di quella di quest'acqua. In conseguenza di ciò alla temperatura

di T gradi centigradi, e alla tensione di M millimetri di mercurio la densità del vapore acqueo è

$$\frac{M.\ 0{,}0000010595}{1 + \frac{T}{266\ 2/3}}$$

ossia, moltiplicando il numeratore e il denominatore per 800, ella è

$$\frac{M.\ 0{,}00084757}{800 + 3\,T};$$

dalla qual formola, dando a T e ad M i diversi valori esposti nella prima e nella seconda colonna della tavola precedente, si hanno i numeri corrispondenti della quarta colonna.

Siccome però questa formola suppone che le temperature vengano misurate con un termometro ad aria, laddove nella tavola superiormente esposta le temperature sono quelle indicate da un termometro a mercurio, così di essa formola non si è creduto di poter usare con sicurezza se non fra — 20° e + 100° C.; e perciò la colonna delle densità al di sopra di + 100° si è ommessa.

Se si volesse paragonare la densità del vapore acqueo ad una data temperatura e ad una tensione di M millimetri di mercurio, colla densità di una massa d'aria dotata della medesima temperatura e sottoposta alla pressione di 760 millimetri di mercurio, basterebbe osservare che la prima densità sta alla seconda come M, 0,620 : 760. 1, ossia come M : 1226. Alla temperatura, p. e., di + 20° C. la densità del vapore acqueo al punto della saturazione è tale che ella sta alla densità di una massa d'aria ascintta della medesima temperatura di + 20° e sottoposta alla pressione di 760 millimetri di mercurio, come 17,275 : 1226, ossia come 1 : 71 prossimamente (*).

(*) Oltre a Dalton e ad Arago e Dulong, a' cui risultamenti si appoggia la tavola superiormente esposta, fecero molti altri Fisici delle diligenti sperienze sulla forza espansiva del vapore

754. Nella precedente tavola i numeri esprimenti le forze espansive del vapore acqueo servono nello stesso tempo di misura alla forza evaporante che ha l'acqua alle diverse temperature. Perciocchè trovandosi una massa di acqua ad una temperatura qualsivoglia, ella emette vapore precisamente sino a quel segno che la forza espansiva di questo vapore faccia equilibrio colla forza evaporante (§ 745).

Serve questa medesima tavola a mostrare quali temperature siano necessarie perchè l'acqua bolla sotto una o sotto altra pressione atmosferica. Se, p. e., si tratti di far bollire l'acqua dove la pressione sia appena di 500 millimetri di mercurio (di 18 ½ pollici circa), basterà una temperatura di + 89° C. ossia di + 71° R.; poichè a questa temperatura la forza evaporante dell'acqua è appunto atta a bilanciare una pressione di 500 millimetri.

755. *Osservazione.* Quando l'acqua contenga sciolta qualcuna di quelle sostanze che sono atte a ritardarne l'ebullizione (§ 728), in questo caso il vapore da essa prodotto ha a pari temperatura una minor tensione che s'ella fosse pura; perocchè queste sostanze diminuiscono a qualsivoglia temperatura la forza evaporante dell'acqua, alla qual forza è sempre uguale il grado massimo di tensione a cui può arrivare il vapore in contatto di essa acqua.

756. Per rispetto ai vapori delle altre sostanze, è stata in essi ritrovata da Dalton una relazione notabile co' vapori acquei. Egli trovò che tutte le diverse specie di vapori, quando essi saturano un dato spazio, a uguali distanze dalle temperature delle rispettive ebullizioni hanno forze espansive uguali. Quindi è

acqueo alle varie temperature, fra i quali vogliono esser citati Southern e Ure; si possono vedere i metodi adoperati da questi ultimi, e i risultamenti da loro ottenuti nel nuovo Dizionario fisico di Gehler, t. II, p. 331 e seg.

che bollendo l'etere solforico a + 38° C., l'alcool a + 80°, e l'acqua a + 100°, noi possiamo inferirne che la forza espansiva del vapore d'etere, p. e., a + 30° C. e quella del vapore d'alcool a + 72° sono uguali a quella del vapore acqueo a + 92°. E così la tavola precedente può servire altresì a mostrare le tensioni di tutte le specie di vapori (1).

Non è però da tacersi che alcuni Fisici hanno de' dubbii sull'esattezza di questa relazione. Despretz trova ch'ella ha bensì luogo sensibilmente pel vapore dell'alcool e per quello dell'etere paragonati con quello dell'acqua, ma che riguardo all'olio di trementina essa conduce a risultamenti assai diversi da quelli dati dalla sperienza (2): potrebbe però avvenire che le differenze nascessero dalle difficoltà che si incontrano nel determinare il punto d'ebullizione de' liquidi e specialmente dell'olio di trementina (§ 738). Bellani in alcune sue sperienze sull'ebullizione del mercurio fu condotto anch'esso a risultamenti diversi da que' che si possono trarre dalla suddetta relazione di Dalton (3). Trovò egli che i vapori di questo liquido (il quale secondo lui bolle a + 275° R.) essendo a + 250° R., a + 237, a + 180°, possono sostenere rispettivamente le pressioni di 15 pollici, di pollici 11 1/2, di pollici 1 di mercurio; laddove secondo la relazione di Dalton essi non dovrebbero sostenere che le pressioni di pollici 8, 3 2/3; 1/20 rispettivamente.

Al lento diminuire della tensione di questi vapori del mercurio collo abbassarsi della temperatura noi possiamo attribuire la proprietà del rendersi essi facilmente sensibili anche alle temperature inferiori all'ebullizione dell'acqua. Si può averne una prova collo scaldare una di quelle bolle termometriche a mercurio in cui si fa un voto nel capo-

(1) V. Biot, *Traité de Physique*, t. I, pag. 282.
(2) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XVI, p. 105.
(3) *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1809, p. 506.

volgerle all'alto per la mancanza dell'aria nel tubo annesso, e col porre quindi un dito sopra essa bolla; si vede con ciò depositarsi il vapore metallico sul vetro che copre il vano non occupato dal mercurio. E per una somigliante cagione veggiamo sovente distillare il mercurio ne' barometri ben purgati d'aria.

757. Dalla esposta tavola delle tensioni del vapore acqueo è facile il vedere, che se entro ad uno spazio chiuso vi sia una quantità di acqua sufficiente a tener saturo di vapore lo spazio medesimo sino a temperature elevatissime, può esso vapore coll'elevarsi della temperatura acquistare una forza espansiva prodigiosa. In fatti sebbene a + 100° C. questa forza non sia che di una semplice atmosfera, a + 182° C. (+ 145° R.), ella è già di 10 atmosfere; a + 220° C. (+ 176° R.), cioè verso il grado della fusione dello stagno è di 22 atmosfere; e verso i + 360° C. dati dal termometro a mercurio, ossia a + 350° C. del termometro ad aria, che è il punto d'ebullizione del mercurio, ella arriva probabilmente alle 200 atmosfere, cioè a segno tale che il coperchio d'una caldaja della superficie di 40 decimetri quadrati verrebbe spinto all'insù colla forza di 800000 chilogrammi (secondo la formola del § 753 la tensione di 200 atmosfere si avrebbe a + 363°, 6 del termometro a mercurio a scala centigrada).

758. Di questa enorme forza espansiva che può acquistare il vapore acqueo noi abbiamo numerose prove e da esperimenti fattisi e da diversi fenomeni naturali.

Il marchese di Worcester verso la metà del secolo XVII riempì di acqua un grosso cannone per tre quarti della sua capacità; ed otturatane quindi la bocca e il focone nella maniera più efficace ed esatta che fosse possibile, lo dispose orizzontalmente e vi accese di sotto un fuoco attivissimo. Il cannone, dopo lasciato in questo stato per ventiquattro ore, con orrendo fragore scoppiò.

In questa sperienza concorse in piccola parte all'effetto anche l'aria che rimase chiusa nel cannone; giacchè quest'aria, e per la dilatazione dell'acqua che ne restringeva il volume, e per l'innalzamento della temperatura, dovette aumentarsi notabilmente di forza espansiva; e questa sua forza espansiva veniva ad aggiungersi a quella del vapore (vedi più sotto al § 775).

759. I vulcani, i quali dal loro cratere o da aperture che vengono a viva forza formate ne' fianchi de' monti, versano di tempo in tempo degli infocati torrenti di lava, il fanno, secondo l'opinione più ricevuta, per la forza de' vapori acquei. Accade alcune volte, secondo una tale opinione, che l'acqua arriva entro a profonde cavità sotterranee ove o pel calor naturale della terra o per altre cagioni vi ha un'altissima temperatura, e dove le masse minerali si trovano in istato di fusione; ivi dopo breve dimora ella concepisce tal calore, che divenendo aeriforme tende ad espandersi e preme con immensa forza tutto all'intorno, e costringe quelle masse liquide e roventi a sollevarsi e a versarsi fuori in fiumi infocati. Molte ragioni ci persuadono di una tale spiegazione; la situazione cioè de' vulcani, de' quali quelli che presentemente sono attivi si trovano generalmente in vicinanza de' mari attuali (*); l'essere le eruzioni vulcaniche accompagnate da abbondantissima copia di acque che escono in istato di densissimo vapor visibile e talora anche allo stato liquido; l'accompagnamento di sostanze d'origine marina molte volte trovatesi ne' crateri vulcanici; il venir soventi queste eruzioni eccitate dalle abbondanti piogge. Al che possiamo aggiungere l'analogia di alcuni effetti men grandiosi bensì, ma somiglianti ai pre-

(*) Vi hanno però alcune poche eccezioni, come può leggersi in una nota di Humboldt sui Vulcani dell'Asia centrale, inserita negli *Annales de Chim. et de Phys*, t. LV, p. 337.

detti, i quali si sono veduti operarsi dai vapori dell'acqua. Racconta M. Ordinaire nella sua *Histoire naturelle des Volcans* (1), che l'anno 1801 in Inghilterra una fonderia di ferro ove si trovava una massa di circa sessanta metri cubici fra metallo e pietre in istato di fusione, venne colta da una inondazione; nel momento che l'acqua giunse nel forno, si alzarono verticalmente a più di cinquanta metri d'altezza, e in tre riprese, delle colonne di fuoco di vivissimo splendore, formate dalle materie fuse; e queste vennero siffattamente disperse dall'esplosione, che in vicinanza della fonderia non ne rimase più vestigio; quanto v'era d'intorno ad essa fu violentemente scosso, e la fornace fu trovata vota, ma senza verun danno.

760. Quando questo vapore acqueo che si forma sotterra a grandi profondità non possa trovare uscita, si crede da alcuni che produca i tremuoti, scotendo violentemente la terra, e comunicando gli scotimenti talvolta fino a grandissime distanze.

761. Nessuna meraviglia pertanto è da farsi delle esplosioni che talora udiamo avvenire nelle macchine a vapore, e de' funestissimi danni che da queste derivano. Vero è però che questi accidenti sono la più parte avvenuti per colpevole inavvertenza (2), e che usando le cautele che sonosi ritrovate per tale oggetto, si è quasi certissimi di non incorrere in siffatti pericoli. Consistono principalmente queste cautele nelle così dette *valvule di sicurezza*, destinate a tener chiuse le caldaje ove si forma il vapore acqueo fino a che la forza di questo non sia pericolosa, ma che si aprono quando la tensione di questo arriva oltre a un certo grado.

(1) Daubuisson, *Géognosie*, t. I, p. 215.

(2) Veggasi fra gli altri il racconto della esplosione avvenuta recentemente a Lione su d'una barca a vapore, esposto nel tomo XXXIII della Biblioteca Universale di Ginevra.

762. Parranno piccolissima cosa dopo ciò i seguenti fenomeni prodotti dalla medesima forza de' vapori, i quali però crediamo utile di descrivere. Uno di questi si ottiene con una palla metallica cava collocata su di un leggiero carretto, piena per gran parte di acqua, con una piccola apertura da un fianco corrispondente o alla parte anteriore o alla posteriore del carretto. Si scalda questa palla per mezzo di una sottoposta lucerna collocata sul medesimo carretto; e giunta l'acqua a qualche grado al di là del punto dell' ordinaria ebullizione, esce il vapore con tanta forza che il carretto retrocede dalla parte contraria. Si chiama questo strumento l'*Eolipila*, quasi porta di Eolo, d'onde questo Dio favoloso lasci uscire i venti.

Talora il recipiente dell'acqua è una sfera cava chiusa, girevole intorno ad un' asta verticale, la quale lascia uscire il vapore da due cannette ripiegate poste dalla parte superiore lateralmente all' asse, come mostra la figura 20. Questa sfera cava sottoponendovi del fuoco gira intorno a se medesima con grandissima velocità (*).

763. Un altro giuoco assai bello a vedersi si suol fare riempiendo di spirito di vino un vaso guernito verso l' alto di una cannetta aperta che dalla bocca discende internamente fin quasi sul fondo, alla guisa della fontana di compressione. Gli si accende d'intorno del fuoco, il quale scaldando il vaso e convertendo in vapore una parte dello spirito di vino fa sollevare all' alto una colonna di questo liquido che accesa anch'essa innalzasi vorticosa con bellissimo effetto.

(*) Musschenbroek, *Intr. ad Phil. Nat.*, § 1469.

Del ritorno allo stato liquido de' vapori nel vacuo.

764. Due sono le circostanze che determinano questi vapori a ripassare allo stato liquido, vale a dire la diminuzione del volume e l'abbassamento della temperatura.

Supponiamo primieramente che un vaso ripieno di qualche vapore, il quale vi stia solo e non giunga fino alla saturazione, venga gradatamente diminuito di capacità senza che si muti la sua temperatura. In sul principio si aumenterà simultaneamente e la densità del vapore e la sua tensione, amendue nella medesima ragione, cioè nella ragione reciproca delle capacità; nè succederà precipitazione di vapore, ad eccezione di un sottilissimo velo liquido che si formerà sopra le interne pareti, il quale andrà bensì aumentandosi, ma però prima della saturazione sarà sempre di una massa molto piccola. Giunto poi il punto che la impiccolita capacità si trovi satura di quella quantità di vapore, cesserà di crescere tanto la densità quanto la tensione, le quali si conserveranno costantemente quelle stesse per tutto l'ulteriore restringimento, e si andrà intanto deponendo sulle pareti una quantità di vapore uguale a quella che spetterebbe alla levata capacità. Del che non ci fermiamo ad esporre la ragione, per non ripetere quanto venne detto poco sopra al § 747.

765. Supponiamo ora che il vaso medesimo senza mutare di capacità venga gradatamente a raffreddarsi. In sulle prime non avverrà nessuna condensazione di vapore, non essendo tale la sua densità da eccedere, a quella temperatura, il punto di saturazione. La tensione però o forza espansiva andrà intanto diminuendo colla stessa legge di un fluido aeriforme permanente che

soffra il medesimo raffreddamento. Ma quando sarà arrivato l'istante in cui la temperatura sia sì bassa che il vapore con quella densità che possiede saturi lo spazio ove è contenuto, allora se il vaso continuerà a raffreddarsi, una parte del vapore si deporrà allo stato liquido sulle pareti, e ne rimarrà allo stato aeriforme soltanto quella quantità gradatamente decrescente, la quale occorrerà a saturare lo spazio nelle successive temperature. Perocchè, a ciascuna di queste temperature, sino a che non si sia deposta la quantità eccedente, si avrà una forza espansiva tendente a depositar vapore sulle pareti, la quale non si troverà compiutamente bilanciata dalla forza evaporante.

766. Quando il raffreddamento sia parziale, il vapore si farà più denso in vicinanza delle pareti più fredde e più raro per conseguenza presso le pareti men fredde, in tal modo da godere dappertutto della medesima forza espansiva. E se l'abbassamento di temperatura porterà il vapore nella parte più fredda del vaso al punto di saturazione, il raffreddamento ulteriore ne farà deporre in questo luogo una parte allo stato liquido fino a che quivi abbia precisamente la densità e la forza espansiva corrispondente alla saturazione; la qual forza espansiva poi sarà la medesima in tutte le parti del vaso; il tutto precisamente come si è veduto al § 750 riguardo all'introduzione di una quantità eccedente di vapore in un vaso di temperatura similmente non uniforme.

767. Se oltre al vapore il vaso contenga del liquido atto a somministrarlo, e si raffreddi esso vaso in qualche parte come precedentemente, e quivi si condensi una parte del vapore, avverrà che scemando la forza espansiva del medesimo vapore e la sua pressione sulla superficie della massa liquida, questa o bollendo o evaporando somministrerà una nuova quantità di vapore; di maniera che qui raffreddandosi per l'evaporazione e là riscaldandosi la parete per la liquefazione del va-

pore, si avrà un continuo equilibrio di temperatura fra le due superficie ove avverranno l'evaporazione e la condensazione suddetta, salvo un leggierissimo eccesso dalla banda ove avrà luogo l'evaporazione, affinchè la differenza delle forze evaporanti spinga il vapore a camminare con certa velocità verso l'altra banda.

768. Il sig. William Wollaston ha immaginata la seguente sperienza singolare (*). Prese un tubo di vetro terminato con due bolle, di una forma quasi eguale al termoscopio di Rumford; fece che nell'una di queste bolle si trovasse dell'acqua pura, e che il rimanente della capacità dello strumento fosse voto e diligentemente purgato d'aria. Ponendo quindi la bolla vota entro una mescolanza frigorifica, ottenne che nell'altra l'acqua si agghiacciasse; e questo avveniva qualunque fosse la lunghezza del tubo, il quale nella parte di mezzo si sarebbe anche potuto far passare attraverso all'acqua bollente. Diede egli perciò a questo strumento il nome di *Crioforo*, che significa *portatore del gelo*.

Uno strumento simile a questo è stato usato anche da Franklin, sotto il nome di *Bollitore*, a far bollire l'acqua o lo spirito di vino col semplice calore della mano applicata sulla bolla contenente il liquido; del quale effetto è facile la spiegazione.

769. Si può, con grande meraviglia di chi non conosce la scienza, far bollire l'acqua per mezzo del ghiaccio. Si prende un recipiente di vetro a collo sottilmente terminato, e riempintolo in parte d'acqua si pone a bollire finchè l'aria sovraincombente all'acqua ne sia interamente espulsa, quindi lo si chiude ermeticamente perchè quest'aria non vi rientri. Ciò fatto, lo si toglie dal fuoco, e vi si applica alla parte superiore un pezzo di ghiaccio; il quale facendo condensare in questo luogo una parte del vapore, dimi-

(*) *Bibl. Brit. Sc. et Arts*, t. LV, p. 160.

nuisce la forza espansiva del vapor rimanente e la sua pressione sull'acqua, e permette che questa, essendo più calda del termine dell'ebullizione corrispondente a quella pressione, ritorni a bollire, sebbene avesse già cessato.

770. Supponiamo che in un vaso il quale stia chiuso da una valvula leggierissima che s'apra dall'indentro all'infuori, si contenga dell'acqua per un terzo o per un quarto della sua capacità, e che dopo messo esso vaso sul fuoco e portata l'acqua ad una viva ebullizione, venga introdotto nella parte di esso non occupato dall'acqua un corpo che sia al di sotto della temperatura dell'acqua bollente (potrebbe, p. e., questo corpo essere un pezzo metallico di forma cilindrica, il quale in sul principio si trovasse inserito con una sua estremità in un foro laterale del vaso ove entrasse a tenuta d'aria, e il quale pezzo poi venisse spinto innanzi nello spazio vano del vaso). Determinerà immediatamente questo corpo la precipitazione di una porzione del vapore, il quale si getterà sulla superficie di esso corpo; e la valvula si chiuderà per essersi diminuita la tensione del vapore, e resa incapace a sostenere la pressione atmosferica. Intanto quel calorico che da latente si renderà sensibile pel passaggio del vapore allo stato liquido, riscalderà prima la superficie del corpo e quindi per la propagazione da molecola a molecola passerà a riscaldarne anche l'interno; al quale effetto coopererà eziandio il calorico che il corpo introdotto riceverà per irradiazione. E siccome l'acqua continuerà a somministrar vapore, e questo seguiterà a deporsi e a riscaldare il corpo, così la superficie di questo arriverà in fine ad avere dappertutto la temperatura dell'acqua bollente; e a questa temperatura dopo qualche tempo arriveranno sensibilmente anche le parti interne. La tensione poi del vapore, dopo essersi in sul principio notabilmente indebolita, andrà gradatamente rinforzandosi di nuovo;

e allorquando la superficie del corpo sarà arrivata alla temperatura dell'acqua bollente, essa tensione avrà riacquistata la grandezza primitiva e farà riaprire la valvula, dopo di che il vapore tornerà ad uscir fuori rapidamente dall'apertura. La quale uscita quando noi vedremo aver luogo, potremo essere certi che in tutti i punti della superficie del corpo introdotto si avrà la temperatura dell'ebullizione, o, per dire più esattamente, che si avrà questa precisa temperatura nella superficie del velo acqueo che cinge e bagna il corpo medesimo; perciocchè se in qualche punto di questa superficie mancasse qualche poco a una tale temperatura, ivi la forza evaporante sarebbe vinta dalla tensione del vapore; e immediatamente il vapore accorrerebbe verso questa banda, e si precipiterebbe su questi punti più freddi insino a che si ottenesse la precisa temperatura dell'ebullizione.

Nasce di qui un metodo esattissimo per recare qualche corpo alla temperatura dell'ebullizione dell'acqua; p. e. un termometro che si voglia graduare (§ 730); una barra metallica di cui voglia determinarsi la dilatabilità pel calore, ec. Si porrà questo corpo in mezzo al vapore somministrato da una massa d'acqua pura che bolla vivacemente; e si avrà la certezza che in tutti i punti della sua superficie esso avrà la temperatura desiderata, quando si vedrà il vapore che circonda esso corpo tutto all'intorno, uscire copiosamente e senza scambio d'aria dall'apertura del vaso. Dopo pochi istanti poi, se il corpo sarà sufficientemente conduttore, si avrà sensibilmente la medesima temperatura anche nelle parti interne. Converrà però consultare il barometro per le piccole differenze di temperatura che possono venir cagionate dalla variata pressione atmosferica.

771. Quando però il corpo che si introduce nel vapore sia d'una di quelle sostanze che si sciolgono nell'acqua e ne ritardano l'ebullizione, come sarebbe ni-

trato di potassa, o muriato di calce, in questi casi il corpo si riscalda al di sopra della temperatura del vapore; perciocchè l'affinità che la sostanza solubile ha coll'acqua, favorisce la prima deposizione del vapore medesimo, e diminuendo la forza evaporante dell'acqua deposta fa che esso vapore continui a precipitarsi sulla superficie del corpo anche allorquando il calorico reso sensibile per la liquefazione del vapore ha recata la temperatura al di sopra de' 100° C.

Se ne può fare una prova mettendo la bolla di un termometro a mercurio entro un sacchettino di tela ripieno di salnitro, ed esponendola quindi ad una corrente di vapore acqueo. Si trova che il termometro sale parecchi gradi al di sopra del punto dell'ebollizione, ossia al di sopra della temperatura del vapore che gli comunica calorico. Col tenere però lungo tempo esposta al vapore cotesta bolla involta nel nitro, l'eccesso della temperatura del termometro al di sopra dell'acqua bollente va diminuendo; poichè la soluzione si rende gradatamente più allungata, e si va successivamente scemando l'attività del sale per indebolire la forza evaporante dell'acqua.

772. Di tutte queste proprietà de' vapori nel vacuo si ha una importantissima applicazione nelle così dette *Macchine a Vapore*. Noi ne daremo una descrizione nella Nota alla fine del volume; giacchè interromperebbe di troppo il nostro filo lo esporla qui con quelle particolarità che la sua importanza richiede.

De' vapori misti coi gas e in ispecie coll'aria.

773. Se noi mettiamo un piccolo vaso con dell'acqua dentro un recipiente chiuso che contenga aria o qualsivoglia altro gas asciuttissimo, il liquido evaporerà anche in questo caso, ma non così prontamente come nel voto, bensì a poco a poco, a cagione dell'impe-

dimento opposto dal gas al libero innalzamento delle molecole del liquido (§ 708); trattone il caso che la forza evaporante superi la pressione del gas medesimo, che allora si avrà in sul bel principio evaporazione rapida (potendo dal vapore venir sollevata e allontanata la massa del gas), ed anche ebullizione.

Ad onta però del suddetto ostacolo che rallenta la formazione del vapore, se ne formerà in capo d'un tempo sufficiente, come fu primieramente avvertito da Deluc, quella quantità medesima nè più nè meno che a quella temperatura e in quel recipiente si verrebbe a formare se mancasse l'aria o il gas. E ciò ha luogo per qualsivoglia altro liquido diverso dall'acqua.

774. E per questa formazione di vapore la forza espansiva della massa aeriforme si andrà gradatamente aumentando; e l'aumento, sì avanti la intera saturazione, che dopo che questa sarà avvenuta, sarà precisamente uguale alla forza espansiva di cui godrebbe la quantità di vapore formatasi se fosse sola nel recipiente; ben inteso che la temperatura fosse la stessa. Il qual fatto, di cui dobbiamo la cognizione a Dalton, si può riconoscere facendo comunicare coll'interno del recipiente il braccio aperto di un barometro a sifone il quale misuri la forza espansiva dell'aria o del gas contenuto nel recipiente medesimo. Se, p. e., avanti l'introduzione del vaso d'acqua la temperatura del luogo era di 25° C. (20° R.), e l'aria asciutta contenutavi era sottoposta ad una pressione di 750 millimetri di mercurio; dopo introdotta l'acqua, e chiuso il recipiente, e ottenuto il punto di saturazione, la suddetta forza espansiva (supposta non variata la temperatura) si troverà aumentata di 23,09 millimetri, cioè cresciuta sino a millimetri 773,09; poichè 23,09 millimetri sono appunto la misura della forza espansiva del vapore acqueo il quale satura uno spazio alla temperatura di 25° C. Che se si fosse osservato il barometro quando di vapore non si era formata che

la metà di quella quantità che occorre alla saturazione, la forza espansiva suddetta si sarebbe ritrovata di millimetri 761,545.

E questo vale generalmente per tutti quei vapori che vengono a mescolarsi con dei gas co' quali non hanno azione chimica, sia pur qualsivoglia la proporzione secondo cui si mescono; vale anche quando vi sieno più vapori e più gas contenuti nel medesimo spazio, semprechè non vi abbia fra tutte queste diverse sostanze aeriformi veruna chimica azione.

775. In generale nelle mescolanze de' fluidi aeriformi che non hanno fra loro azioni chimiche hanno luogo queste due proprietà:

1.° *La forza espansiva del miscuglio uguaglia la somma delle forze espansive che avrebbero separatamente nel medesimo spazio e alla medesima temperatura tutte le masse aeriformi che si trovano mescolate insieme.* E le masse aeriformi possono essere della stessa natura o di natura diversa, possono essere due ovvero tre ovvero quante si vogliono, possono essere tutte di fluidi aeriformi permanenti, ovvero in parte od anche in tutto di fluidi aeriformi non permanenti, possono essere semplici ovvero composte; ben s'intende però che, se v'hanno de' vapori, nessuno di questi entri nel miscuglio in una quantità maggiore di quella che può mantenere lo stato aeriforme.

2.° *Ciascuna specie di vapore per saturare uno spazio a una determinata temperatura, dev'essere in una quantità medesima, sì quando è solo che quando si trova insieme ad altre sostanze aeriformi di natura diversa con cui non abbia chimica azione.* Si tiene questo per una verità certissima, quando sia uno solo il vapore contenuto nel miscuglio, e sieno de' gas le altre sostanze aeriformi che gli si trovano insieme. Quando però si trovano contemporaneamente più specie di vapore in un medesimo spazio, posto anche il caso ch'esse appartengano a sostanze prive affatto

d'ogni chimica azione vicendevole, si ha ancora qualche dubbio se abbia luogo l'esposto principio. Su questo particolare torneremo di nuovo fra poco.

776. Mediante questi principii noi possiamo facilmente indovinare qual cosa debba avvenire allorquando in un recipiente chiuso dove si contenga un gas ed un liquido evaporabile, p. e. aria ed acqua, venga a variare o la temperatura o la capacità o tutte e due insieme. Scorriamo brevemente alcuni di questi casi.

Supponiamo dapprincipio che il vaso senza mutare di temperatura si vada gradatamente dilatando, ma con tale lentezza che la sua capacità possa continuamente venir tenuta satura di vapore. La densità dell'aria o in genere del gas diminuirà e con essa anche la forza espansiva di esso, sì l'una che l'altra nella ragione inversa de' volumi. In vece il vapore conserverà sempre la medesima forza espansiva e la medesima densità, che saranno quelle corrispondenti alla saturazione per siffatta temperatura; e ciò in grazia della successiva produzione che succederà di esso a proporzione che il vaso si andrà allargando. La totale densità poi e la totale forza espansiva del miscuglio si avranno sommando le densità e le forze espansive separate.

777. Supponiamo in secondo luogo che il vaso, senza mutar volume, si riscaldi gradatamente, ma con tale lentezza che possa similmente venir sempre tenuto saturo di vapore. La separata forza espansiva dell'aria e in genere del gas permanente crescerà con la legge che abbiamo già dichiarata nel parlare della dilatazione de' fluidi aeriformi (§ 636), cioè, posto che la temperatura passi da 0° C. a $+1°$ C., a $+2°$, ec., crescerà essa forza espansiva come i numeri $266\,^2/_3$, $267\,^2/_3$, $268\,^2/_3$, ec.; la forza espansiva del vapore separatamente considerato crescerà con la medesima legge come se mancasse il gas; se, p. e., si tratti del vapore acqueo, essa forza crescerà con la legge trovata da Dalton ed espo-

sta nella tavola del § 752; e quella del miscuglio sarà uguale alla somma delle due separate. Quando poi tutto il liquido sarà evaporato, non potendo più il vapore crescere di densità, le due forze espansive cresceranno con la medesima legge, e quella del miscuglio s'aumenterà come se esso fosse dell'aria secca.

778. Poniamo ora che il vaso che contiene aria ed acqua e che gradatamente e lentamente si riscalda, sia estensibile e che convenientemente allargandosi faccia che i fluidi aeriformi contenuti conservino complessivamente una tensione sempre uguale alla pressione atmosferica. In questo caso:

1.° La forza espansiva del vapore a una data temperatura del vaso sarà quella che corrisponde alla saturazione per una tale temperatura.

2.° La forza espansiva dell'aria sarà la differenza fra la pressione dell'atmosfera e la tensione del vapore; giacchè a ciascuna temperatura dee il vaso per l'assunta ipotesi dilatarsi fino a che questa forza espansiva dell'aria sommata con quella del vapore arrivi ad essere bilanciata dalla pressione suddetta dell'atmosfera.

3.° La densità di quest'aria starà alla densità di un'altra massa d'aria asciutta che sia alla stessa temperatura e la quale venga premuta da quello stesso peso atmosferico che comprime il mescuglio, come la sua reale forza espansiva determinata or ora sta alla pressione medesima dell'atmosfera.

4.° La densità in fine del vapore si avrà moltiplicando per $5/8$ (o meglio per 0,620) la densità che dovrebbe aver l'aria asciutta se fosse alla stessa temperatura di lui e godesse della medesima sua forza espansiva. La quale densità poi sommata con quella dell'aria associatavi darà la densità del miscuglio.

Esempio. Siasi la temperatura portata a $+ 50°$ C, e il barometro (supposto il mercurio a 0°) segni $0,^m740$. Si avrà:

La forza espansiva del vapore uguale a mill. $88,^734$;

La forza espansiva dell'aria associatavi eguale a mill. 651,266.

La densità di quest'aria, in paragone di quella di una massa d'aria asciutta ugualmente premuta come il mescuglio ed ugualmente calda, presa quest'ultima densità come unità, sarà $\frac{651,266}{740}$, ossia 0,8801.

La densità del vapore, paragonata con quella della massa d'aria asciutta testè menzionata, sarà $\frac{88,734}{740}$.0,620, ossia 0,07434.

La densità perciò del vapore starà a quella dell'aria che gli si trova insieme :: 0,07434 : 0,8801, ossia :: 1 : 11,84.

La somma delle due densità in paragone della massa d'aria asciutta sarà :: 0,9544 : 1.

779. *Osservazione I.* L'aria tenuta satura di vapore a una pressione costante è tanto più imbevuta di vapore quanto più è calda. Perocchè elevandosi la temperatura cresce la tensione del vapore, e scema quella dell'aria; e la massa del vapore viene ad essere in maggior proporzione rispetto alla massa dell'aria.

780. *Osservazione II.* Alla temperatura dell'ebullizione il vaso che abbiamo immaginato si dilaterebbe indefinitamente fino a che in esso vi fosse del liquido; giacchè essendo la forza espansiva del vapore bastante da se sola a resistere alla pressione atmosferica, quella dell'aria romperebbe l'equilibrio, nè questo, in sino a che vi avesse del liquido, si potrebbe mai ristabilire per nessuno ingrandimento di volume, non potendo mai la tensione dell'aria essere ridotta nulla.

781. Tutto questo si può applicare al caso di un vaso che contenga dell'aria con una sufficiente quantità d'acqua o d'altro liquido, e che abbia un'apertura per mezzo di cui comunichi coll'aria esteriore. Le densità e le tensioni sì dell'aria contenuta che del vapore si determinano allo stesso modo stato inse-

gnato precedentemente, e si può fare la medesima riflessione riguardo alla successiva rarefazione dell'aria associata al vapore; la quale aria alla temperatura dell'ebullizione del liquido verrà tutta dal vapore medesimo scacciata, avendo esso da se solo una tensione uguale alla pressione atmosferica.

782. A dare un' idea più chiara del successivo aumento della proporzione di un vapore contenuto a saturazione nell'aria, a misura che la temperatura di questa si va elevando, può giovare la tavola seguente, compilata pel vapore acqueo che tiene satura una massa d'aria sotto la pressione di 760 millimetri di mercurio.

Temperature espresse in gradi centigradi.	Tensioni espresse in millimetri.		Pesi, posto = 1 il peso di un ugual volume di aria asciutta alla stessa pressione e alle stesse temperature.		
	Del solo vapore.	Della sola aria.	Peso del vapore.	Peso della sola aria.	Peso totale.
— 10°	2,63	757,37	0,0021	0,9965	0,9986
0°	5,06	754,94	0,0041	0,9933	0,9974
+ 10°	9,47	750,53	0,0077	0,9875	0,9952
+ 20	17,27	742,73	0,0141	0,9773	0,9914
+ 30	30,65	729,35	0,0250	0,9597	0,9847
+ 40	52,89	707,11	0,0431	0,9304	0,9735
+ 50	88,73	671,27	0,0724	0,8832	0,9556
+ 60	144,66	615,34	0,1180	0,8097	0,9277
+ 70	229,07	530,93	0,1868	0,6986	0,8854
+ 80	352,13	407,87	0,2872	0,5367	0,8239
+ 90	525,28	234,72	0,4285	0,3088	0,7373
+100	760,00	0,00	0,6200	0,0000	0,6200

783. Veniamo ora a considerare i casi contrarii. E supponiamo primieramente che si abbia un vaso chiuso

tenuto a temperatura costante, il quale contenga un gas e un vapore, ma quest'ultimo in minore quantità di quello che occorra per la saturazione, e immaginiamoci che la sua capacità si vada gradatamente e lentamente restringendo. Crescerà in sul principio sì la densità che la forza espansiva del miscuglio nella ragione reciproca de' volumi; ma arrivato che sia il vapore alla densità della saturazione, non proseguiranno ad aumentarsi che la densità e la tensione dell'aria, restando quelle del vapore costantemente le stesse; perocchè quella parte di vapore che si andrà rendendo eccedente si deporrà sulle pareti del vaso allo stato liquido. Non si può con certezza asserire se in qualche caso alcune molecole vaporose si potranno condensare anche nel mezzo del miscuglio; sembra però che ciò non debba avvenire nel condensarsi del vapore acqueo misto coll'aria, stantechè in sul principio il calorico reso sensibile da questa condensazione basterà a tenere aeriforme il vapore anche fatto più denso, come vedremo più innanzi al § 789; e nel seguito, allorquando questo calorico si andrà dissipando, siccome il raffreddamento avrà luogo principalmente in contatto delle pareti, così pare che su queste dovrà altresì deporsi il vapore a proporzione ch'esso ripasserà allo stato liquido: che se una tale precipitazione in mezzo al miscuglio aeriforme avrà mai luogo per qualche specie di vapore, in questo caso le piccole masse liquide così formate, attesa la loro gravità specifica diversa da quella del rimanente miscuglio, verranno poscia trasportate sulle pareti o sul fondo.

Potrebbe taluno dimandare se in mezzo alla massa aeriforme potrà avvenire, in forza di un tale restringimento, una soprassaturazione di vapore invisibile, vale a dire se prima che una parte di questo si depositi sulle pareti o si riduca in tante minime masse liquide sospese, potrà avvenire una condensazione di esso, senza perdere lo stato aeriforme

o invisibile, al di là di quella quantità che saturerebbe il medesimo spazio se mancasse l'aria o il gas; allo stesso modo come avviene de' sali sciolti nell'acqua allorquando se ne concentrano le soluzioni (t. I, § 282). Per vero dire, se il vaso è amplissimo, io nol saprei ben decidere, non vedendo ragioni ben chiare che dimostrino una tale soprassaturazione impossibile. Quando però il vaso sia di piccola capacità, cioè di quelle dimensioni che sogliono avere i vasi che noi adoperiamo, e il restringimento sia lento, io credo che questa soprassaturazione non si possa effettuare se non forse in un grado affatto insensibile; poichè appena che il vapore in mezzo al miscuglio si rendesse leggiermente soprassaturo, il continuo movimento che porta in giro il miscuglio stesso nel vaso e ne conduce incessantemente le varie parti in contatto colle pareti, farebbe quivi deporre la parte di vapore eccedente il punto di saturazione.

784. Se in luogo di un restringimento, avverrà nel vaso considerato un lento raffreddamento, in sulle prime la densità del miscuglio non si altererà e diminuiranno colla stessa legge ambedue le forze espansive; quindi diminuirà la densità del vapore, per lo deporsi sulle pareti della quantità eccedente la saturazione; e allora la tensione di esso vapore diminuirà con una legge più rapida che non la tensione dell'aria; diminuirà la prima, se si tratta del vapore acqueo, secondo la legge data dalla tavola del § 752, e la seconda secondo la legge esposta al § 636.

785. Supponiamo ora che il raffreddamento abbia luogo parzialmente in qualche punto delle interne pareti del vaso, o alla superficie di qualche corpo solido contenuto, e, per considerare un caso più frequente, supponiamo che il vaso sia di una capacità incomparabilmente più grande del volume raffreddato, in modo che questo parziale abbassamento di temperatura non induca diminuzione sensibile di forza espansiva nella total massa aeriforme (tale sarebbe il caso dell'aria atmosferica entro cui venisse a raffreddarsi qualche

corpo). Succederà che accanto alla superficie solida raffreddata la mescolanza in sulle prime si restringerà, rendendosi più denso sì il gas che il vapore secondo una ragione medesima, e la somma delle loro forze espansive, come pure ciascuna di queste forze separatamente presa, si manterrà costante; e nascerà un movimento nella mescolanza medesima la quale discenderà nel luogo raffreddato, e si alzerà in iscambio lentamente e fors'anche in un modo affatto insensibile lungi da questo luogo. Quando poi il raffreddamento sia giunto a tale, che la densità del vapore sia quella della saturazione, e la temperatura continui ad abbassarsi, non potrà più il vapore crescere di densità nè mantenere quella tensione, ma dovrà una parte di esso ridursi in liquido accanto alle pareti fredde, tanto che la parte rimanente abbia quella sola densità e quella sola tensione che corrispondono alla precisa saturazione. Intanto, per la differenza della gravità specifica del miscuglio dal luogo freddo al caldo, la circolazione seguiterà, e col favore di essa il miscuglio stesso passerà continuamente accanto al luogo raffreddato deponendo parte del suo vapore, e così avrà luogo una continuata distillazione.

Questa deposizione di vapore suole avvenire d'inverno ne' vetri delle stanze calde ed umide; suole avvenir di state sulla superficie delle bottiglie ripiene d'acqua fredda; suole aver luogo nelle notti serene sulla superficie delle erbe, nel qual caso il vapore deposto forma ciò che si chiama la *rugiada*.

786. *Del vapore visibile.* Può avvenire in diverse circostanze che la temperatura di un miscuglio d'aria e di vapore acqueo, o in genere di un gas e di una qualche specie di vapore, venga a trovarsi al di sotto di quel punto a cui quel vapore tien saturo di se esso miscuglio, e che il vapore eccedente non abbia tempo di deporsi o sulle pareti del vaso che contiene il miscuglio medesimo, o sulla superficie de' corpi solidi

o liquidi che a questo miscuglio si trovano in contatto, impedendo l'aria o il gas che esso vapore si possa recare da se stesso fino alle superficie suddette, e non trasportandovelo con bastevole prontezza essa aria medesima o esso gas ne' proprii movimenti. In questo caso un tale vapore si condensa in mezzo dell'aria o in genere del gas in una moltitudine di minime masse opache generalmente liquide le quali rimangono molto tempo sospese, alla guisa de' precipitati nelle soluzioni dei liquidi. Cessando però la causa che il produce, questo precipitato a poco a poco si dirada e si depone sulle pareti de' vasi o sulla superficie de' corpi per lo più in tante goccioline liquide, e lascia che nell'aria rimanga appena tanto vapore, tutto invisibile, quanto corrisponde alla precisa saturazione.

Un tale precipitato o una tale moltitudine di minime masse opache sospese si suol chiamare *vapor visibile*, ed altresì da alcuni, per rispetto ai vapori acquei, *vapor vescicolare*, a cagione di una particolare idea che questi Fisici si sono fatti intorno ad esso, come vedremo più sotto. Questa specie di vapori è quella che d'inverno rende l'alito nostro opaco e visibile, quella che s'alza in forma di fumo dall'acqua bollente, quella che forma la nebbia e la massima parte delle nuvole. Si formano questi vapori visibili anche in vicinanza delle mescolanze frigorifiche, allorquando l'aria fino ad una certa distanza si raffredda sotto il punto che riduce alla saturazione il vapore acqueo ch'ella contiene; nel qual caso osservasi il vapore visibile discendere accanto al vaso della mescolanza come un fumo, e poscia, dopo disceso per un certo tratto, scomparire nuovamente.

787. Restringendoci al caso del vapore acqueo, noi possiamo ridurre a tre le circostanze, nelle quali esso passa allo stato di vapore visibile, e sono:

1.° Il mescolamento di masse aeriformi inegualmente calde;

2.° Il raffreddamento diretto;

3.° La rarefazione.

Cominciando dalla prima di queste circostanze, egli si è riconosciuto che se si mescolano insieme due masse d'aria inegualmente calde e sature entrambe di vapore acqueo invisibile, ne nasce un miscuglio dotato di una temperatura intermedia il quale non è capace di tenere invisibile tutta la quantità di vapore acqueo che si trovava nelle due masse separate, talchè è forza che una parte di questo vapore si condensi o precipiti e si renda visibile. Se, p. e., si hanno due eguali masse di aria, l'una a 0° e che sia satura di vapore acqueo invisibile, contenendone per la tensione di millimetri 5,059, l'altra a + 10° C. e la quale contenga similmente del vapore acqueo sino ad esserne satura, cioè sino alla tensione di millimetri 9,475, e se queste due masse si vogliono meschiare insieme senza che si abbia a precipitar vapore, fa d'uopo a quest'oggetto, supposto che rimangano sotto la medesima pressione esterna e colla libertà perciò di dilatarsi, riscaldarle entrambe per circa 3/4 di grado centigrado, fa d'uopo cioè portare l'una di tali masse a + 0°,75. C., e l'altra a + 10°, 75; con ciò la mescolanza avrà la temperatura di + 5°, 75, e il vapore contenuto si troverà alla tensione di millimetri 7,267 che è quella con cui a una tale temperatura l'aria è satura di esso vapore. Se queste due masse separate non verranno scaldate preventivamente de' suddetti 3/4 di grado, allo effettuarsi la mescolanza si condenserà una parte del vapore acqueo, nella stessa maniera come se al mescuglio, dopo averlo ottenuto a + 5°,75, venisse levata una certa quantità di calorico; la temperatura però della mescolanza delle due masse non state riscaldate risulterà alcun poco più elevata di + 5°, atteso il passaggio di una parte di calorico da latente a sensibile per la precipitazione del vapore, e si troverà compresa fra + 5°, e + 5°, 75. Forse a tutto rigore potrà essere alcun poco diverso da 3/4 di grado centigrado il riscaldamento che si dovrà dare alle due masse aeriformi separate, affinchè il

miscuglio si trovi a + 5°,75 C., o, per dir meglio, si trovi ad una tale temperatura da essere precisamente saturato dal vapore acqueo contenuto; poichè nel mescolarsi due masse uguali ma leggermente eterogenee e di temperature disuguali, possono queste, attesa la differente capacità pel calorico, acquistare una temperatura alcun poco diversa dalla media aritmetica delle due temperature primitive; ma ben si vede che la differenza da questa media aritmetica dev'essere piccolissima, e che perciò non soffre eccezione la conclusione esposta, cioè che sia necessario un preventivo riscaldamento nelle due masse separate affinchè non avvenga precipitazione di vapore. Quello poi che diciamo per questa particolare mescolanza vale altresì per tutte le altre nelle quali vengano ad unirsi due masse aeriformi sature di vapore acqueo, qualunque sia la proporzione di esse, e qualunque ne sieno le temperature. Ed è ovvio a vedersi che si può anche avere precipitazione quando le due masse aeriformi separate non siano affatto sature di vapore acqueo.

Pare che questa sia la causa della formazione di molte nuvole. Se in fatti una massa d'aria calda e satura di vapore acqueo invisibile si muove orizzontalmente al di sopra di un'altra massa d'aria più fredda ma satura essa pure di vapore acqueo invisibile e la quale si muova o con diversa velocità o con diversa direzione, nel luogo ove le due masse aeriformi confinano si dovrà formare per la loro mescolanza un velo di vapor visibile di una forma generalmente orizzontale, e che sarà più sottile o più grosso, più raro o più denso, secondo che le due masse d'aria saranno più o men vicine alla saturazione, secondo che sarà più o men grande la loro differenza di temperatura, e secondo che sarà maggiore o minore la loro velocità relativa. Tale è probabilmente l'origine (*) di quelle nubi stratificate for-

(*) Howard nella *Biblioth. Brit. Sc. et Arts*, t. XLIX, p. 297 nell'articolo sulla formazione del *Cirro-Cumulo*.

mate talvolta a onde parallele e talvolta d'aspetto granulare, alle quali i Francesi danno l'epiteto di *pommelées*, e che i Toscani dicono *cielo a pecorelle*, e noi Lombardi *cielo a pagnotte* o a *pan cotto*, nubi che si hanno per indizio di poco lontana pioggia.

Questa è eziandio secondo varii autori la cagione di molte nebbie, p. e. di quelle che si veggono sulle rive de' laghi e de' fiumi, quando il cielo è sereno e tranquillo. Ecco in qual modo si crede che queste si formino. La superficie delle acque profonde si raffredda durante la notte assai più lentamente che quella de' terreni asciutti, stante che nelle acque le parti che si raffreddano vanno a fondo e ne lasciano salire delle altre più calde, e sulla terra le perdite del calorico non vengono riparate che col mezzo della facoltà conduttrice la quale è assai meno efficace del moto idrostatico. Ne avvien quindi che durante la notte è più calda la superficie delle acque che non quella de' terreni attigui; e ciò ha pur luogo per l'aria che sovrasta alle une e agli altri, partecipando essa pel contatto, almeno in parte, della temperatura de' luoghi sottoposti. L'aria poi che sta sopra le acque, se vi rimane tranquilla per qualche tempo, si rende quasi affatto satura di vapore. Ciò posto, può di leggieri avvenire che l'aria sovrapposta a questi terreni asciutti o per la declività del suolo la quale le permetta di discendere, o per un qualche lieve venticello che la muova, vada a meschiarsi con quella che riposa sui fiumi e sui laghi. Ora in questo mescolamento, siccome la capacità che ha il mescuglio aeriforme alla nuova temperatura per contenere il vapore acqueo invisibile non arriva ad essere uguale alla somma delle capacità delle due masse d'aria che si sono meschiate, e siccome altresì queste due masse o erano sature o pressochè sature di siffatto vapore acqueo invisibile, così è d'uopo che una parte di questo vapore divenga visibile, e che sul lago o sul fiume verso la riva si formi della neb-

bia. Ecco alcune osservazioni in appoggio di queste dottrine.

Viaggiando il celebre chimico Humphry Davy giù pel Danubio presso Ratisbona ne' giorni 9, 10 e 11 giugno 1818, essendo il cielo sereno, ebbe occasione di osservare che alla sera si formava la nebbia sul fiume allorquando la temperatura dell'aria sulla terra alle rive del fiume era da 2° a 4° centigradi al di sotto della temperatura dell'acqua; e che al contrario questa medesima nebbia si dissipava al mattino allorquando la temperatura dell'atmosfera alle rive del fiume si era fatta superiore a quella dell'acqua. Il di 11 giugno, alle sei del mattino, al di sotto del ponte di Passavia, le temperature del Danubio, dell'Inn e dell'Ilz, nel punto ove questi due ultimi si gettano nel primo, erano rispettivamente di + 16°, 7 C., + 13°, 6, + 13°, 3; mentre alla riva un termometro esposto all'aria indicava soltanto 12°, 2. In questa circostanza tutta la larghezza del Danubio era coperta d'una nebbia assai folta; sull'Inn vi aveva una nebbia più leggiera, ed una assai rara sull'Ilz, dimostrando che su questi ultimi fiumi la mescolanza dell'aria delle rive con quella sovrapposta all'acqua faceva precipitare assai poco vapore.

Questa spiegazione viene altresì avvalorata dall'osservarsi che quando la temperatura dell'acqua è inferiore a quella del massimo di densità non appariscono più queste specie di nebbia, potendo allora raffreddarsi anche la superficie delle acque al pari di quella della terra (1).

Conformemente a queste stesse dottrine egli è stato osservato che entrando dell'aria freddissima in una stanza calda ed umida, vi si forma una nebbia che talvolta è anche agghiacciata (2). E alla mescolanza

(1) *Annuaire du Bureau des Longitudes pour l'an* 1828, p. 168 a 172.

(2) Collezione delle Opere del conte Volta. Firenze, 1816, t. I, part. II, pag. 376.

di più masse d'aria umide e di differenti temperature è altresì da attribuirsi il vapor visibile prodotto dall'alito, quello prodotto dall'evaporazione dell'acqua calda, ec.

788. La seconda circostanza in cui può formarsi del vapore visibile, è quella allorquando le masse aeriformi umide vanno gradatamente abbassandosi di temperatura; se queste vengono recate al di sotto del punto di saturazione in luoghi di esse lontani dal contatto di corpi solidi o liquidi, una parte del vapore invisibile si precipita e si rende visibile. Può riferirsi a questa seconda maniera la formazione del vapore visibile accanto alle mescolanze frigorifiche. Pare altresì che si producano a questo modo certe nubi, dette *parassite*, le quali si veggono alcune volte immobili intorno alle cime delle alte montagne e che si hanno per indizii d'improvvisi turbini e di temporali. Osservandole davvicino mostrano esse in alcune loro parti più distinte un veloce movimento secondo la direzione del vento, e pajono non essere formate da una massa d'aria carica di vapore visibile e la quale sia costantemente la stessa, ma bensì da masse d'aria che continuamente si rinnovano prendendo l'apparenza di nube per un certo tempo mentre si trovano presso le dette cime. Sembra cioè che un vento caldo carico di umidità e dotato di un moto orizzontale all'arrivare presso quelle fredde sommità si raffreddi, e lasci precipitare e divenir visibile una parte del vapore acqueo contenuto; e che all'allontanarsi di nuovo tale aria dalle sommità medesime, permetta che quel vapore, per nuovo calorico acquistato, torni a disciogliersi e a rendersi invisibile (*).

Nasce però il dubbio che anche in questo secondo caso la precipitazione del vapore si effettui principalmente per la mescolanza di masse aeriformi umide e

(*) Saussure, *Voyages dans les Alpes*, § 2070.

inegualmente calde; e che il raffreddamento il quale non ha mai luogo d'una maniera uniforme in una estesa massa d'aria, ma sempre più in un luogo che in un altro, sia piuttosto una causa remota del fenomeno, sia la causa cioè che determina una differenza di temperatura fra più parti della massa aerea e che rende queste atte a produrre poscia il vapore visibile quando vengono a mescolarsi; e che forse se l'aria durante il raffreddamento rimanesse perfettamente tranquilla, la precipitazione del vapore succederebbe in gran parte sui corpi freddi contigui, a modo di rugiada. Toccherà ad ulteriori ricerche il dilucidar questo dubbio.

789. Quando l'aria s'aumenta di volume senza ricevere nuovo calorico, abbiamo veduto che essa diviene più fredda (§ 442). In questo caso perciò hanno luogo contemporaneamente in essa due modificazioni che influiscono in maniera contraria sulla sua attitudine a contenere vapore acqueo invisibile; un aumento cioè del volume il quale considerato separatamente tende ad aumentare una siffatta attitudine, e un raffreddamento il quale tende a diminuirla. Però vince l'influenza del raffreddamento, di maniera che per siffatta rarefazione scompagnata da assorbimento di calorico, l'aria si rende men capace a contenere di questo vapore acqueo allo stato invisibile; e se prima di venir rarefatta non è molto secca, una parte del vapore ch'ella contiene può rendersi visibile. Supponiamo per un esempio che in una massa d'aria a + 20° C. si trovi del vapor acqueo allo stato invisibile per la tensione di 10 millimetri di mercurio, la quale quantità, per la suddetta temperatura, è molto al di sotto di quella necessaria alla saturazione, corrispondendo questa alla tensione di millimetri 17, 3; e immaginiamo che quest'aria venga ridotta a quattro quinti della densità primitiva. Nel supposto che la temperatura dell'aria varii di 1° C. per ogni $1/106$ di va-

riazione nella densità (§ 445), si avrà nel caso da noi immaginato un raffreddamento di circa 23° C.; e la tensione del vapore quando non avvenisse precipitazione si ridurrebbe a millimetri

$$10.\ 4/5\left(1 - \frac{23}{266\ 2/3 + 20}\right)$$

ossia a mill. 7, 36, quantità molto maggiore della tensione che il vapore può avere a — 3° C., la quale è soltanto di mill. 4, 17. Converrà adunque che molta parte di questo vapore si riduca visibile; con che poi la temperatura si terrà alcun poco superiore ai — 3° C.

Abbiamo una prova sperimentale di quanto qui si espone, allorquando facciamo il voto colla macchina pneumatica sotto una campana di vetro: in questa operazione dopo i primi colpi di stantuffo si vede formarsi entro la campana una leggiera nebbia.

Egli è da credere che questo terzo modo di prodursi del vapor visibile sia un'altra cagione della formazione delle nubi. Quando una massa d'aria vicina al suolo contiene una maggiore quantità di calorico dell'altra aria circostante, ovvero anche quando contiene maggior quantità di vapore acqueo che la renda più leggiera dell'altra, s'innalza quella in mezzo a quest'ultima (§ 632) e nello stesso tempo si raffredda (potendo così il maggior calorico contenuto essere causa indiretta di freddo), e diminuisce di attitudine a contenere il vapore; e se il raffreddamento è sufficiente, ella arriva al punto della saturazione, e quindi lascia che una parte del vapore contenuto si renda visibile, ossia ella si converte in una nube, elevandosi questa dalla parte superiore, e mantenendosi a costante livello nell'inferior superficie per tutto il tempo che le arriva nuova aria somigliante dal di sotto. Tale sembra esser l'origine di quelle nubi dense gonfie e ammucchiate, simili nell'apparenza ad ammassi di cotone, le quali

si veggono per lo più alla state nelle ore calde della giornata staccate e sparse per l'atmosfera sopra le pianure, ovvero sovrapposte e quasi appoggiate alle vette de' monti, e talora anche collocate intorno alle sommità di questi; nubi che dal celebre Howard, il quale molto si occupò intorno alle nuvole, si appellano *Cumuli* (*). Quando il sole vibra i suoi raggi sulle pianure, si riscaldano maggiormente alcune parti del terreno che altre, ovvero anche la forma irregolare del terreno agevola l'innalzamento dell'aria riscaldata più in alcuni punti che in altri; si innalzano quivi perciò delle colonne d'aria, le quali arrivate ad una certa altezza, pel freddo prodotto dalla dilatazione vengono ridotte in nubi. Le pendici de' monti rivolte al sole sono molto favorevoli a questo innalzamento, sì perchè i raggi solari vengono ricevuti meno obbliquamente, e sì perchè la forma stessa del suolo ajuta e guida l'aria riscaldata a salire; di qui è che soventi volte nelle regioni montuose si vede sovrapposto ad ogni vetta come un cappello nuvoloso.

Si osserva moltissime volte che queste nubi hanno la superficie inferiore spianata e orizzontale, e che le superficie inferiori di molte di tali nubi fra loro staccate si trovano ad un medesimo livello. Io credo che questo sia per lo più il caso di quelle nubi le quali, mentre noi le osserviamo, continuano ad essere alimen-

(*) *Bibl. Brit. Sc. et Arts*, t. XXVII, p. 185 e seg.; t. XLIX, p. 281 e seg. La spiegazione che dà Howard di questa specie di nubi è pochissimo diversa da quella che noi ne esponiamo. Le fa derivare anch'egli da masse d'aria calda ed umida le quali salgano dal suolo fino a regioni molto fredde dell'atmosfera, e nelle quali si determini quivi la precipitazione di una parte del vapore invisibile contenuto. La differenza consiste solamente in ciò, che in luogo di attribuirne il raffreddamento alla loro propria rarefazione, lo fa egli dipendere dalla fredda temperatura dell'aria circostante (*Bibliothèque Brit. Sc. et Arts*, t. XLIX, p. 292).

tate da aria che s'innalza. Infatti in tutta una vasta regione l'aria vicino a terra è presso a poco ad una medesima temperatura e contiene una medesima proporzione di vapore acqueo, ed ha perciò bisogno di salire dappertutto fino ad una stessa altezza per assumere lo stato di nube.

Alcune volte si osserva che le nubi le quali cingono i fianchi delle montagne, e che inferiormente sono terminate in superficie orizzontali, salgono all'elevarsi del barometro, e discendono col discendere di questo (*). Mi pare che fra le spiegazioni che possono darsi al fenomeno, una molto naturale sia anche questa. Allorquando il barometro si abbassa, ossia allorquando diminuisce in un luogo il peso della massa atmosferica sovrapposta, l'aria che si trova sotto ad una di queste nubi, si dilata, si raffredda e diviene meno capace per contenere il vapore invisibile; e perciò se precedentemente era poco lontana dalla saturazione, come facilmente avviene di un'aria che si trovi poco al di sotto di una nube, può ridursi opaca anch'essa o cangiarsi in nube. Elevandosi in vece il barometro, l'aria delle parti più basse della nube, le quali contengono poca quantità di vapore visibile, condensandosi si riscalda, acquista maggiore capacità per contenere vapore invisibile, e si rende trasparente.

790. Quando una massa d'aria contenente del vapore acqueo, dopo essersi innalzata fino ad una certa altezza, venga a lasciar precipitare di questo vapore, sarà maggiore in essa la condensazione prodotta da un tale passaggio del vapore dallo stato aeriforme al liquido, ovvero sarà in essa al contrario più grande la dilatazione cagionata dallo sviluppo del calorico che in questa precipitazione passa da latente a sensibile? Se si hanno cioè due masse aeriformi, l'una formata d'aria umida, e l'altra consistente in una oppor-

(*) Saussure, *Hygrométrie*, § 208.

tuna mescolanza di gas asciutti, le quali due masse, avendo vicino al suolo la medesima temperatura e la medesima densità, godano altresì della proprietà che recate successivamente a diverse altezze si raffreddino entrambe colla medesima legge, e se l'una di queste masse viene per lo innalzamento ridotta allo stato di nube, avrà ella allora maggiore o minore densità dell'altra arrivata a pari altezza?

Per tentare la soluzione di questo dubbio, noi supporremo che la conversione in vapore visibile del vapore acqueo invisibile sparso nell' aria sia accompagnata dallo sviluppo di quella stessa quantità di calorico, la quale diviene sensibile nel passaggio del medesimo vapore invisibile al vero stato liquido, cioè dallo sviluppo di una quantità di calorico che basti a scaldare di 1° C. una quantità di acqua circa 550 volte maggiore (§ 732). Ciò supposto, e chiamata ν la massa del vapore che si sarà precipitato dopo un certo tempo da una determinata massa d' aria, la quantità di calorico che verrà resa sensibile da questa precipitazione sarà bastevole prossimamente a riscaldare di un grado centigrado una massa d'acqua espressa da

$$550.\nu,$$

ossia una massa d'aria asciutta, dotata di una temperatura poco lontana da 0°, e sottoposta ad una pressione poco diversa da quella di 76 centimetri di mercurio, ed espressa da

$$\frac{550.\nu}{0{,}2669},$$

ossia anche una massa presso che equivalente di quell'aria umida che sta interposta fra i globetti del vapore visibile della nube; la quale ultima massa d' aria potrà per questo riscaldamento dilatarsi di una quantità ugnale al volume occupato da una massa

$$\frac{1}{266{,}67} \cdot \frac{550.\nu}{0{,}2669}$$

dell'aria umida medesima, volume equivalente a quello del

quale quest'aria verrebbe dilatata per l'introduzione di una massa di vapore acqueo invisibile espressa da

$$\frac{1}{266,67} \cdot \frac{550.\nu}{0,2669\,\nu} \cdot 0,620 \ ,$$

ossia da

$$4,79.\nu.$$

E avrà luogo un aumento di volume di questa medesima grandezza anche allorquando la massa d'aria da cui si è precipitato il vapore sia molto diversa da quella misurata da

$$\frac{550.\nu}{0,2669} \ ;$$

poichè se quest'aria da cui il vapore si è precipitato, è uguale a p volte quella misurata da una siffatta espressione, il riscaldamento che in essa avrà luogo pel calorico reso sensibile sarà di $\frac{1}{p}$. 1° C., e la dilatazione prodotta da questo riscaldamento p volte più piccolo ma effettuato in una massa p volte più grande, sarà ancora quella stessa determinata poc'anzi, cioè uguale all'accrescimento di volume prodotto dall'introduzione di una massa $4,79\,\nu$ di vapore acqueo. Noi non ci facciamo carico di una piccola quantità del calorico reso sensibile, la quale rimane ancora ne' globetti del vapore condensato o visibile, tenendo anche questi alla temperatura dell'aria in mezzo a cui si trovano; e ciò per essere piccolissima ne' casi che consideriamo la quantità di questo vapore reso visibile in paragone della massa dell'aria ove è sparso, di maniera che il suddetto calorico divenuto sensibile si potrà ritenere come comunicato quasi interamente a quest'aria.

La diminuzione di volume in vece che viene prodotta dalla condensazione della massa ν di vapore, adottando l'ipotesi che le piccole masse del vapore visibile consistano in tante goccioline piene, e che perciò esse abbiano un volume mille e trecento volte all'incirca più piccolo che essendo allo stato di vapore invisibile, è prossimamente uguale

a quella diminuzione che verrebbe prodotta dall'annientamento di una massa di vapore invisibile misurata da

$$\left(1 - \frac{1}{1300}\right) v;$$

la quale quantità è appena la quinta parte all'incirca della dilatazione calcolata precedentemente (Osserveremo, per intelligenza di quanto diciamo, che chiamato V il volume della massa v di vapore acqueo, ossia l'aumento di volume cagionato nell'aria dalla presenza di esso vapore, e supposto che la temperatura dell'aria contenente un tale vapore sia poco lontana da 0° C., è 0,620. V il volume di una massa d'aria asciutta uguale a quella di un tale vapore, e circa $\frac{1}{800}$. 0,620. V, ossia circa $\frac{1}{1290} V$, ossia più semplicemente circa $\frac{1}{1300} V$ il volume di una equivalente massa d'acqua).

Arrivando adunque la massa d'aria umida a quel punto a cui ella incomincia a ridursi in nube, si fa essa specificamente più leggiera dell'altra massa de' gas asciutti salita alla medesima altezza. E questa conclusione non può mancare anche nel caso che il numero 550 da noi assunto nel precedente calcolo, venisse da più esatte sperienze notabilmente modificato.

Da ciò noi possiamo ricavare che se vicino al suolo si trova una massa d'aria umida, la quale o in grazia della sola umidità o in forza altresì di una più elevata temperatura, sia specificamente più leggiera dell'altra aria circostante, e se questa massa d'aria alzandosi e raffreddandosi arriva a divenir satura del vapore acqueo contenuto e a lasciarne precipitare una parte, non può una tale precipitazione porre impedimento alla ulteriore salita di essa aria umida, ma anzi le dà una nuova spinta, di maniera che ella può arrivare a maggiore altezza che se non fosse avvenuta questa precipitazione. Nel continuare poi a salire, ella continua altresì a raffreddarsi e a lasciar precipitare altro vapore; ma però il decremento delle temperature coll'aumentarsi dell'altezza non ha più luogo colla

rapidità di prima, ossia con quella stessa rapidità come se non avvenisse precipitazione di vapore (nel qual vaso secondo le dottrine de' § 445 e seg. si avrebbe un raffreddamento di circa 1°C per ogni cento metri di salita), ma ha luogo con una legge più lenta. Fino a qual punto poi essa aria umida debba salire, e quale quantità di vapore ella debba lasciar precipitare, è cosa che dipende dal decremento più o men rapido delle temperature dell' aria circostante. Quando questo decremento è molto rapido, ossia quando l' aria delle regioni basse è molto calda in confronto di quella delle regioni alte, in questo caso a proporzione che l'aria umida sale, per lungo tratto ella si trova continuamente in mezzo ad altra aria più fredda di essa e quindi più pesante, e può perciò salire fino a regioni elevatissime, e lasciar precipitare gran copia di vapore. All'incontro quando il decremento delle temperature dell'aria circostante è assai lento, p. e., assai più lento di quello che si produce nello innalzarsi dell'aria umida e già sparsa di vapor visibile, in tal caso quest'ultima aria può presto trovarsi in mezzo ad altra aria di cui sia più pesante, e là fermarsi dal salire (§ 632).

Quest'aria poi che sale riceve un'altra spinta ancora, se mai il vapore visibile contenuto, dopo ridottosi al di sotto di 0°, si viene ad agghiacciare, stantechè in questo passaggio allo stato solido si rende sensibile una certa quantità di calorico. E quantunque in sulle prime possa questo calorico portare l'aria verso il secco, pure nel seguito, in grazia dell'ulteriore innalzamento il quale fa di nuovo divenir latente esso calorico resosi sensibile, ed anzi produce un raffreddamento al di sotto della temperatura a cui incominciò l'agghiacciamento, può un tale calorico sviluppatosi essere cagione indiretta di una nuova precipitazione di vapore sui pezzettini solidi già formati; a quel modo che avendosi vicino a terra una massa d' aria alla temperatura, p. e., di + 17° C, la quale sia piuttosto secca ed abbia la medesima gravità specifica dell'aria circostante, se questa massa d'aria verrà riscaldata sino a + 20° C, può talora questo riscaldamento farla salire sino a regioni elevatissime, e con ciò portarla al massimo d'umidità ed anche farle precipitare del vapore.

Cade qui in acconcio di far qualche cenno intorno ad una ipotesi di Humboldt sulla formazione della grandine, ipo-

tesi assai plausibile, a mio giudicio, e che ha molta relazione colle cose or ora dette. Questo celebre autore fa dipendere una tale meteora dalla salita di masse d'aria calda ed umida in sino a tale altezza che esse possano per la loro espansione arrivare al di sotto del punto della congelazione dell'acqua (*). Abbiamo veduto or ora come queste masse possano innalzarsi tant'alto da ridursi in nubi; ed abbiamo altresì veduto come la formazione del vapore visibile e il suo agghiacciamento possano favorire una tale salita. Ora ecco in qual guisa si può spiegare l'aumento de' grani della grandine fino ad una prodigiosa grossezza.

Allorquando dopo una lunga azione del calor solare su qualche tratto della superficie terrestre, i più bassi strati dell'atmosfera hanno ivi acquistato una tale temperatura da poter salire in sino a regioni elevatissime, e allorquando una porzione dell'aria di questi strati ha incominciato in qualche luogo ad innalzarsi, affluisce a quel luogo dalle bande circostanti una quantità d'aria per sottentrare a quella innalzatasi, e per innalzarsi quindi anch'essa dopo di questa; e si forma così una corrente d'aria calda ed umida ascendente che viene alimentata per un certo tempo da altra aria che accorre a quel luogo. Arrivata la colonna ascendente in sino ad una certa altezza, e cominciatosi a formare il vapore visibile, i diversi globetti di questo nella loro ulteriore salita vanno gradatamente ingrossando per la precipitazione di altro vapore invisibile; e intanto si rendono gradatamente più lenti nel salire, a confronto dell'aria in cui nuotano e che s'innalza velocemente; la quale circostanza ajuta il loro ingrossamento, facendo che al loro contatto l'aria si muti successivamente e ne venga di continuo della nuova a deporre su essi altro vapore e forse a unirvi de' globettini liquidi minori. Recatesi le goccioline a maggiore altezza, arriva l'istante in cui o per la freddissima temperatura, inferiore per avventura d'assai al punto della congelazione, o fors'anche pel tremore cagionato nell'aria dal tuono, vengono questi globetti a gelare; allora l'aria

(*) Gehler's *Physik. Wörterb. neu bearb.* t. V, p. 67, ove si cita il terzo volume de' Viaggi di questo celebre scienziato.

frapposta acquista un aumento di forza ascensiva, che porta ancora più alto i grani semiagghiacciati, e questi continuano a ingrossarsi, e nello stesso tempo ad agghiacciarsi più compiutamente. Ma insieme col loro salire e col loro crescere diviene gradatamente più lenta la loro salita, e dopo una certa altezza cessano dall'innalzarsi, bastando appena a reggerli l'aria che loro passa velocemente vicino; dipoi cadono, prima con piccola velocità, e poi con velocità maggiore, cioè con una velocità che va gradatamente crescendo a proporzione che il loro peso viene a prevalere maggiormente alla forza con cui l'aria li sospinge verso l'alto; e in tutto questo tempo la molta aria che loro passa vicino continua sempre a deporre su essi del vapore invisibile, e fors'anche de' globettini liquidi che su vi si agghiacciano. Discesi poi i grani così ingrossati in quelle regioni dell'atmosfera nelle quali la temperatura dell'aria e il calorico che da latente si rende sensibile per la deposizione del vapore, tenderebbero a liquefarli, vengono a terra con tale prontezza da non potere effettuarsi sensibilmente la loro liquefazione.

Noterà forse taluno che questa maniera di formazione della grandine si è procurato di aggiustarla e di presentarla sotto un certo favorevole aspetto; si vede nulladimeno che le cause operatrici che si sono impiegate non solo sono esistenti e possibili, ma anche si sono supposte operare in un modo probabilissimo; e però se non affatto certa, dee almeno l'ipotesi di Humboldt riguardarsi come molto probabile. E in appoggio di essa io potrei addurre altre ragioni, se io qui intendessi di estendermi maggiormente intorno a' fenomeni meteorologici. Ma mi limiterò a prevenire una ovvia obbiezione che le potrebbe esser fatta.

Potrebbe qualcuno osservare con Deluc e con altri (*), che le nubi grandinose non sogliono essere molto elevate, e che non arrivano a tale altezza ove l'aria si possa ragionevolmente supporre al di sotto del punto della congelazione. Io però rifletterò che le nubi su cui può farsi questa osservazione, sono bensì quelle da cui esce la grandine per venire a terra, ma non già quelle, a mio credere, ove ella

(*) Gehler's *Physik. Wörterb. neu bearb.*, t. V, p. 79.

si forma. Quando succedono de' temporali alla distanza di dieci o dodici miglia, noi veggiamo le nubi ergersi a guisa di altissime montagne, e talora osserviamo più strati di nubi, l'uno molto al di sopra dell'altro. Ora è probabile che sieno gli strati o le parti più elevate quelle ove la grandine si forma e si aumenta.

Tornando ora alle nubi, noi avvertiremo che in una gran parte de' fenomeni che le riguardano ha probabilmente una notabile influenza anche l'elettricità; p. e., nella loro formazione, nella loro dissoluzione, ne' loro movimenti, nella riduzione di esse in pioggia, ec. Di una tale influenza però noi non ci occuperemo, non possedendosene cognizioni sicure, e intendendo noi soltanto di fare riguardo alla Meteorologia alcuni brevissimi cenni intorno a que' punti pe' quali si hanno spiegazioni meno incerte.

791. Sulla maniera con cui si forma questo vapore visibile, cioè sul modo col quale le molecole del vapore invisibile si uniscono a formare le piccole masse di vapor visibile, e sulle forze che determinano il loro ravvicinamento non si hanno ancora cognizioni ben chiare. Io ne aveva alcuni anni sono tentata una spiegazione (*), ma non la tengo io medesimo che come una mera ipotesi dotata della semplice possibilità. Ne è neppur noto, parlando de' globetti del vapore visibile dell'acqua, se essi si formino appena che il vapore invisibile incominci ad oltrepassare il punto di saturazione (§ 783), o se ricerchino un grado sensibile di soprassaturazione. Quello però che si ha per certissimo, si è che quando essi sono formati, l'aria interposta è precisamente al punto di saturazione, cedendo questa ad essi tutta la parte di vapore invisibile che per avventura fosse eccedente, e passando al contrario una parte della massa di tali globetti allo stato invisibile se essa aria non fosse interamente satura di umidità. E si tien pure per certissimo che siffatti globetti non vengano

(*) *Giornale di Fisica di Pavia*, 1816, p. 206.

giammai prodotti direttamente dalle masse liquide, ma che sempre derivino da precedente vapore invisibile (1).

792. La luce del Sole passando attraverso alle masse di questo vapor visibile dà luogo a diverse apparenze, le quali noi descriveremo brevemente, lasciandone ad altro luogo la spiegazione. Quando adunque il Sole traspare in mezzo a nubi leggiere, si osservano molte volte intorno al suo disco parecchi piccoli anelli concentrici colorati, i quali si possono altresì rimirare e molto più comodamente nell'immagine di un tale astro formata per riflessione sull'acqua tranquilla. Sono questi anelli del diametro di pochi gradi, e si succedono coll'ordine seguente: 1.° immediatamente intorno al disco luminoso si osserva un cerchio azzurro grigio, il quale in contatto col disco medesimo finisce in bianco chiaro, ed esteriormente è terminato da un lembo giallo che finisce in rosso; 2.° succede quindi una serie di anelli che cominciando dai più interni hanno per ordine i seguenti colori, cioè: violetto, turchino, verde, giallo, rosso; 3.° di poi segue una nuova serie de' colori: verde, giallo dilavato, rosso; 4.° infine si osserva un languido verde, e all'intorno un languido rosso (2). Costituiscono questi anelli fra tutti insieme ciò che chiamasi una *corona*, e dipendono, come si dirà altrove, da un piegamento che soffre la luce nel passar rasente alle diverse piccole masse liquide sospese. Varia assai il loro diametro da una volta che compajono ad un'altra; e sono soventi volte imperfetti nel loro numero, e talora altresì poco regolari nella loro forma; e si osservano assai frequentemente anche intorno alla Luna, come pure intorno alla fiamma di una candela collocata al di là

(1) Gehler's *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, t. II, p. 648.
(2) *Idem*, t. V, p. 433.

di una colonna di vapor visibile che s'innalzi da qualche massa d'acqua riscaldata.

Si veggono similmente degli anelli colorati da quella banda che rispetto all'osservatore è diametralmente contraria al sole; il che si può scorgere facilmente ponendosi d'inverno in un luogo oscuro ove entri da un'apertura un fascio di raggi solari, volgendo il tergo al Sole, e soffiando l'alito lontano da noi verso la banda ove si dirigono i raggi che passano rasente il nostro capo. Da ciò hanno origine quei singolari cerchii colorati, i quali appajono talora a modo di aureola intorno all'ombra del capo di una persona esposta al sole in luogo eminente, e che getti la propria ombra su di una nube situata più basso (1).

793. Queste piccole masse, per lo meno quelle che nascono da vapori emanati dai liquidi, sono liquide anch'esse e di forma sferica; ma possono avere diametri molto diversi. Riguardo al vapore acqueo, Kratzenstein per mezzo del microscopio le trovò del diametro di $^1/_{3600}$ di pollice (2). Saussure ne osservò di diverse grossezze; giudicò le più piccole di $^1/_{4560}$ di pollice, e le più grandi di $^1/_{2780}$ di pollice. Frauenhofer dal diametro delle corone poc'anzi menzionate, calcolò il diametro di alcune di queste sferette in $^1/_{1730}$ di pollice (pollici 0,000578), quello di altre in $^1/_{885}$ di pollice (poll. 0,00113), e quello infine di altre ancora in $^1/_{524}$ di pollice (poll. 0,00191). Perciocchè questo dotto Fisico aveva dimostrato che il variare del diametro de' cerchi colorati da una volta ad un'altra dipende dalla grossezza de' minimi globetti, essendo que' diametri tanto maggiori quanto più piccoli sono i globetti medesimi; ed aveva inoltre trovato il modo di determinare il diametro di cotali globetti per mezzo

(1) Bouguer negli Atti dell'Accademia di Parigi per l'anno 1744, p. 265.

(2) Saussure, *Hygrométrie*, § 202.

del diametro di que' cerchii (*); ritrovamento in vero maraviglioso, di determinare nelle nubi i diametri di particelle quasi invisibili davvicino. Ella è poi ben naturale una siffatta diversità di diametri; perciocchè questi globetti in sul primo formarsi saranno piccolissimi, quindi andranno gradatamente ingrossando per la successiva deposizione di nuovo vapore invisibile, e in fine prima di dileguarsi torneranno nuovamente ad impiccolirsi.

Sono però tutti d'una grossezza pressochè uniforme in que' luoghi delle nubi ove si mostrano ben distinti i colori delle corone, e specialmente ove si possono distinguere i colori degli anelli più esteriori; altrimenti i varii globetti che si vedessero in uno medesimo di que' luoghi non potrebbero concorrere a dare uno stesso colore. Sono in vece di diametri differenti l'uno dall'altro in quelle nubi che mostrano le corone poco distinte, specialmente se non presentano di queste che il cerchio azzurrognolo centrale.

794. Si ritiene dai Fisici che questi globetti resistano alla congelazione per molti gradi al di sotto di 0°, cioè che rimangano senza agghiacciarsi a — 3° C., a — 4° e perfino a — 10° e a — 15°. Il che è analogo a quanto abbiamo già veduto dell'acqua; la quale in certe circostanze non incomincia a gelare che a qualche grado sotto 0°.

Però non debbono sempre riguardarsi siccome composte di globetti liquidi le nuvole che noi veggiamo in stagioni fredde o nelle regioni elevatissime dell'atmosfera, in genere quelle che hanno una temperatura inferiore a 0°; poichè allorquando in luogo di presentarci le *corone*, esse ci mostrano l'*alone* ossia un gran cerchio intorno al Sole o alla Luna del diametro di circa 45°, o allorquando per lo meno ci fanno ve-

(*) Gehler's *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, t. V, p. 437.

dere degli archi o pezzi di un tale alone, in questo caso esse si reputano formate di minimi aghi triangolari di ghiaccio, come diremo nella Sezione VI. E questo stato di vapori agghiacciati si ha probabilmente in molti altri casi ove per la forma irregolare e non uniforme de' minimi pezzetti solidi manca l'apparenza dell'alone. Di tale natura cioè formate di aghi agghiacciati sembrano appunto essere quelle nubi tenui ed elevatissime che Howard denomina *Cirri*, ma delle quali noi non possiamo, per non dilungarci di troppo, qui esporre i caratteri.

795. Sullo stato interno di questi globetti i Fisici non sono fra loro concordi. Parecchii, cominciando da Halley, li reputano internamente voti; e di tale opinione era fra gli altri il celebre Saussure il quale fece *su* di essi molte diligenti osservazioni. Tra le altre maniere d'osservarli guardava egli col microscopio quelli che si sollevano da un liquido nero e riscaldato quale sarebbe il caffè; li vedeva egli sovente come tante palle giacer senza moto sulla superficie del liquido o rotolarsi sopra di esso (la qual cosa è analoga al fenomeno di cui abbiamo parlato nel t. I, p. 96, del rimaner cioè galleggianti le goccie sulla superficie di alcuni liquidi senza confondersi colla massa sottoposta); talora li vedeva sollevarsi in alto in gran numero alla guisa di un volo d'uccelli, e presentare molti singolari movimenti. E in quanto all' apparenza alcuni gli si mostravano scolorati alla maniera che fanno le gocce piene; altri li vedeva riflettere più copiosamente la luce, nel modo che veggiam fare le bolle di sapone nuotanti nell'aria, a cagione del maggior numero delle superficie riflettenti la luce, che in esse bolle son quattro, laddove nelle goccie piene non sono che due. Da questo egli conchiuse che tali sferette più illuminate sieno internamente vote di acqua e soltanto riempiute di qualche sostanza leggierissima o anche imponderabile, essendo in vece piene le altre che egli

scorgeva più oscure. Siccome poi le prime sono assai più numerose delle altre, così egli riguardò i vapori visibili siccome ammassi di tante minime vescichette; e da questa ipotesi, adottata da un gran numero di Fisici in grazia altresì della grande leggerezza che mostrano questi vapori, è nata la denominazione di *Vapori vescicolari*. Noteremo però non essere assolutamente necessaria la conseguenza dedotta dalla riflessione della luce, potendo benissimo quella differenza di riflessione dipendere dalla grandezza e dalla posizione de' globetti. Richiamando in fatti quello che abbiamo detto testè riguardo ai cerchii colorati che i vapori visibili mostrano dalla banda contraria al Sole, noi possiamo osservare che in questi cerchii appajono delle notabili differenze nella quantità di luce riflessa, e che perciò più globetti delle medesime dimensioni possono mostrarcisi più o men luminosi secondo le diverse posizioni che hanno rispetto ai raggi di luce; oltre a ciò Bouguer assicura che queste corone opposte al Sole sono estremamente soggette a variare di diametro da un tempo all'altro, il che è verisimilissimo ch'esse facciano nel cangiare di grossezza de' globetti medesimi, allo stesso modo delle corone che circondano questo astro; egli è perciò affatto probabile che posti più globetti di diverso diametro in un luogo medesimo e quindi in una stessa posizione rispetto ai raggi solari, alcuni di essi sieno atti a riflettere all'occhio molta luce ed altri poca.

Molti altri Fisici all'incontro riguardano tutte queste sferette siccome minime goccie piene (*). E a dire il vero, non si sa trovare in natura nessun fluido che si possa ragionevolmente supporre contenuto in quelle bolle e dentro ad esse far resistenza alla esteriore pressione atmosferica e alla loro tendenza a restrin-

(*) Fra gli altri Howard nella *Bibl. Brit. Sc. et Arts*, t. XXVII, p. 189.

gersi (Vedi t. I, § 249). Poco probabile pare la supposizione dell'idrogeno, non trovandosene quantità sensibile nell'atmosfera; il semplice calorico non si è peranco riconosciuto in nessun fenomeno operare nella guisa di un fluido aeriforme coercibile; così pure è inverisimile che a questo modo operi l'elettrico entro a globetti vani formati di una sostanza eminentemente conduttrice di questo principio imponderabile; e se, rinunciando al vantaggio di poter riguardare cotali globetti siccome più leggieri dell'aria, si volesse supporre che il fluido in essi contenuto fosse della comune aria atmosferica, sarebbe sempre poco verisimile che nell'unirsi insieme parecchie molecole di vapore invisibile, vengano queste a disporsi in guisa da formare un velo sferico intorno a una piccola massa d'aria.

796. Questi minimi globetti, o pieni o voti che sieno, rimangono lungo tempo sospesi nell'aria: talora essi s'innalzano nell'atmosfera, come si osserva sovente delle nebbie e delle nubi; e se alcuna volta discendono, nol fanno che con molta lentezza. Intorno alla causa di cotal sospensione gli autori son pure discordi. Quelli che li credono voti soppongono che stiano sospesi per essere specificamente meno pesanti dell'aria, a cagione della leggerezza del fluido che contengono; e la comodità di questa spiegazione è un altro motivo anzi il principale che fa loro adottare l'ipotesi dello stato vescicolare. Nell'ipotesi ch'essi siano pieni, si può spiegare la cosa in varie guise. Fresnel, nulla pronunciando sulla loro natura, ma mostrando di propendere a riguardarli come pieni, ammette ch'essi assorbano abbondantemente il calorico raggiante lanciato dalla terra verso le nubi, come pure il calorico de' raggi solari, e che con ciò essi si riscaldino e scaldino altresì l'aria frapposta, la quale perciò venga con essi a formare un ammasso specificamente più leggiero dell'aria circostante, e tenda ad innalzarsi. Per la loro

specifica gravità tendono bensì essi globetti a discendere frammezzo all'aria in cui galleggiano intanto che questa va innalzandosi; ma questa discesa attese le moltiplicate superficie che essi presentano è lentissima, talchè durante la giornata prevale la causa che le innalza; e se durante la notte prevale la causa contraria, e le nubi discendono, ciò non può effettuarsi che assai lentamente (1). In appoggio della ragionevolezza di questa spiegazione noi possiamo citare un fatto che si osserva nelle faville che scendono per l'aria dopo essersi, p. e., spenta una candela col soffio. Queste quando sono sul punto di estinguersi e si trovano già ridotte leggierissime, mutano direzione e per qualche istante, in grazia del calore comunicato all'aria contigua, salgono verso l'alto.

Questa spiegazione ha il vantaggio d'essere indipendente da qualsivoglia supposizione sulla natura de' globetti liquidi, valendo tanto pel caso ch'essi si vogliano credere pieni, quanto pel caso ch'essi vogliansi riguardar come voti. E può anche servire per ispiegare la sospensione, o almeno la lenta discesa di que' finissimi aghi agghiacciati dai quali il Cavalier Venturi fa dipendere l'Alone e i Parelii (2).

Potrebbe concorrere efficacemente a questa sospensione anche la resistenza dell'aria, se mai questa, come alcuni autori suppongono, fosse molto maggiore su questi piccoli globetti di quello che il calcolo dedurrebbe dalle note leggi della resistenza dei mezzi. Quando le nubi sono novellamente formate può anche concorrere il calorico sviluppatosi nella loro formazione, il quale le tenga più calde dell'aria trasparente contigua. E può altresì avervi parte l'elettricità (sebbene non si possa dire in qual modo) dandocene sospetto

(1) *Annales de Chim. et de Phys.*, t. XXI, p. 260.
(2) *Commentarii sopra la Storia e le Teorie dell' Ottica.* Bologna, 1814, p. 189.

l'osservazione che questi vapori visibili sono in generale fortemente elettrizzati.

797. Non è soltanto l'acqua quella che produce de' vapori visibili; ma il fanno anche molti altri liquidi, p. e. l'alcool e il mercurio (1).

Talvolta questi vapori visibili si hanno da sostanze solide, p. e. dall'incenso, nel qual caso essi sono da riguardarsi come minime particelle solide. Ed anche il fumo ordinario delle legne sembra essere di questa natura, poichè l'unione di un gran numero delle sue particelle non forma già un liquido ma bensì una sostanza solida qual è la fuliggine. E riguardo a questa specie di vapor visibile noi possiamo notare che presso la superficie de' carboni dai quali emana egli è trasparente e che non divien visibile se non a qualche distanza; per cui il possiamo riguardare siccome un vapore il quale a temperature assai elevate è invisibile e raffreddandosi si condensa in minutissime particelle solide.

798. *Della mescolanza de' vapori fra loro.* A compimento di queste dottrine aggiungeremo alcune poche cose sulle mescolanze vicendevoli de' vapori fra loro, poche cose perchè non si è ancora studiato gran fatto, per quanto è a mia notizia, su questo argomento (2).

Noi considereremo il caso più semplice, vale a dire la mescolanza di due soli vapori, co' quali non si trovino mischiati de' gas; e supporremo che si tratti di vapori che non abbiano tendenza a combinarsi chimicamente insieme; giacchè se avessero una tale tendenza, le proprietà della sostanza composta che ne risulterebbe, se questa fosse an-

(1) Gehler's *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, t. II, p. 644.

(2) È da leggersi a questo riguardo un articolo di Bellani inserito nel *Giornale di Fisica di Pavia* per l'anno 1809 a p. 529. Io ho attinto quasi interamente di là il contenuto di questi paragrafi.

ch'essa aeriforme, sarebbero quelle stesse di un vapore semplice.

Ciò posto, sonovi due casi distinti da esaminare; può infatti avvenire: 1.° Che i liquidi atti a somministrare que' vapori (giacchè noi ci limiteremo ai soli vapori prodotti dalle sostanze liquide) abbiano fra loro una debole affinità, quella cioè che basta a farli mescolare insieme ma che non vale a produrne la chimica combinazione; 2.° che i due liquidi non abbiano fra loro cotale affinità, ma siano tali che posti insieme rimangano separati.

799. Pel primo di questi casi noi possiamo trarre qualche lume dalla maniera di comportarsi de' vapori dell'alcool e dell'acqua.

Premetteremo che quando entro ad uno spazio chiuso la quantità dell'uno e dell'altro vapore è già stabilita, talchè nè vada formandosene veruna nuova quantità nè deponendosene di quello già formato, ella è cosa dimostrata che la tensione della total massa de' due vapori è precisamente uguale alla somma delle tensioni che avrebbero separatamente i due vapori medesimi in quello stesso spazio, a quella stessa temperatura e con quella stessa densità (776); appunto come avviene nella mescolanza di due gas o in quella di un gas con un vapore. Si deduce questo da alcune sperienze di Gay-Lussac fatte appunto su mescolanze di vapore acqueo con vapore di alcool. In una di queste sperienze essendosi mescolate parti uguali in peso di questi due vapori alla temperatura di +100° C. e sotto la pressione di 76 centimetri di mercurio, si trovò che un mezzo grammo di vapore acqueo, il quale da se solo a quella temperatura e a quella pressione avrebbe occupato lo spazio di litri 0,848, e un mezzo grammo di vapore alcoolico che in simili circostanze avrebbe occupato lo spazio di litri 0,3295, formarono uniti insieme una mescolanza che a quella pressione e a quella temperatura aveva il volume di litri 1,1815, volume che differisce pochissimo dalla somma 1,1775 de' due volumi separati (*). Ora il mezzo

(*) Biot, *Traité de Phys.*, t. I, p. 298.

grammo di vapore acqueo, se si fosse trovato solo nello spazio risultante 1,1815, avrebbe posseduto la tensione di centimetri

$$76.\frac{0,848}{1,1815}, \quad \text{ossia } 54,54,$$

come si ha dal § 746; e il mezzo grammo di vapore alcoolico in questo stesso spazio avrebbe avuto la tensione di centimetri

$$76.\frac{0,3295}{1,1815}, \quad \text{ossia } 21,19.$$

E la sperienza fe' conoscere che fra tutti e due ebbero la tensione di 76 centimetri, pochissimo diversa dalla somma 75,73 delle due tensioni separate.

Ciò posto, quello che in questa classe di mescolanze di vapori non si potrebbe indovinare *a priori* e che tocca alla sperienza a far conoscere, si è il grado massimo di tensione a cui può arrivare l'uno e l'altro de' due vapori eterogenei quando in quello spazio vi sia presente in bastevole massa un miscuglio de' due corrispondenti liquidi; p. e. le tensioni massime che possono acquistare il vapore acqueo e il vapore alcoolico in un vaso voto d'aria e chiuso, ove si trovi dell'alcool allungato d'una certa quantità di acqua. La presenza dell'acqua terrà ella la tensione e la densità del vapore dell'alcool minori di quello che esse sarebbero se il vapore alcoolico fosse solo? E così pure la presenza dell'alcool potrà ella impedire al vapore dell'acqua di giugnere alla densità e alla tensione che questo potrebbe da se solo acquistare?

Il fatto mostra che la cosa è appunto così. Se noi facciamo bollire dell'alcool alquanto allungato, noi troviamo che il punto dell'ebullizione è più elevato di quello dell'alcool rettificatissimo; l'alcool, p. e., della densità 0,91 bolle a + 81,5 C., dovechè quello rettificatissimo bolle a + 79°,7 (§ 739). Si deduce da ciò che a quella stessa temperatura a cui bolle l'alcool rettificatissimo, cioè a + 79°,7, le due specie di vapori emessi dall'alcool allungato, il vapore acqueo cioè e il vapore alcoolico, non arrivano ad avere fra

tutte e due la tensione di 76 centimetri di mercurio, ma forse soltanto quella di 70, ovvero di 68; laddove il vapore del solo alcool, quando questo è rettificato, può a tale temperatura arrivare fino alla suddetta tensione di 76 centimetri, e quello dell'acqua pura fino alla tensione di 35 centimetri. È dunque forza ammettere che la presenza dell'acqua contenuta nell'alcool allungato diminuisca la tensione a cui possono arrivare i vapori dell'alcool, ossia che l'affinità dell'acqua coll'alcool diminuisca alquanto la forza evaporante di quest'ultimo; come a vicenda egli è da credere che l'affinità che l'acqua sente verso l'alcool diminuisca la forza evaporante dell'acqua stessa, e faccia scemare la tensione che possono acquistare i vapori acquei a quella temperatura, precisamente come allorquando in essa acqua si trova sciolto un sale. E tanto minore è la forza evaporante dell'uno de' due liquidi quanto più grande è la proporzione dell'altro liquido, mostrando il fatto che tanto più elevato è il punto d'ebullizione di una qualità di alcool quanto più esso è allungato con acqua. Non si conoscono però ancora le vere tensioni di ciascuno de' due vapori alle varie temperature e alle varie proporzioni dei due liquidi.

800. Nel secondo caso, cioè quando i due liquidi evaporabili non hanno una sufficiente affinità vicendevole da potersi mescolare l'uno coll'altro, sonovi alcune ragioni le quali propendono a far credere che trovandosi contemporaneamente in un medesimo spazio voto d'aria e chiuso due vasi pieni separatamente di questi due liquidi medesimi, debba ciascuno de' due vapori arrivare a quella stessa densità e a quella stessa tensione a cui esso giungerebbe se fosse solo. Supponiamo infatti che si tratti dell'acqua e dell'olio di trementina, i quali sono appunto due liquidi che non si mescolano insieme; se si pongono in uno stesso spazio voto due recipienti che contengano separatamente di questi due liquidi, egli pare che l'acqua dovrà emettere del vapore acqueo sino alla medesima densità e alla medesima tensione come se in questo spazio, in luogo del vapore dell'olio di trementina, si trovasse contenuto un fluido aeriforme permanente, e però come se in tale spazio non si contenesse altro che acqua e vapore acqueo (§ 774); perciocchè sembra che lo strato più superficiale dell'acqua sarà for-

mato di acqua pura, senza mescolanza chimica di altra sostanza che ne diminuisca la forza evaporante: e lo stesso è dell'olio di trementina, il quale secondo queste idee dovrà godere alla sua superficie della medesima forza evaporante come mancando il vapore acqueo. Però potrebbe avvenire che l'uno de' due liquidi facesse condensare su di se un sottil velo del vapore dell'altro liquido, come avviene de' corpi igrometrici; del che non si potrebbe vedere l'influenza sulla forza evaporante.

Il Bellani procurò di mettere in chiaro cotali dubbii colla sperienza seguente. Pigliate due canne barometriche a sifone e riempiutele entrambe di mercurio, fece bollire questo nell'una di esse, e quindi vi fe' passare una goccia d'olio di trementina, il cui vapore, dopo che con varii raddrizzamenti e capovolgimenti della canna si ebbe levata dalla camera barometrica tutta l'aria svoltasi, mostrò una tensione di 8 linee di mercurio; nell'altra, ove il mercurio non si era fatto bollire, siccome operazione inutile, introdusse una goccia d'acqua, e il vapore di questa, dopo levata l'aria che si era sviluppata, mostrò una tensione di linee 11 (secondo la tavola del § 752, alla temperatura nella quale venne fatta questa sperienza, che fu di $+21^{\circ}\frac{1}{2}$ R. corrispondenti a 26,875 C., il vapore acqueo avrebbe dovuto avere la tensione di millimetri 25,70, pari a linee $11\frac{4}{10}$). Avendo di poi introdotta una goccia d'acqua nella prima canna e una goccia d'olio di trementina nella seconda, crebbe sì l'una che l'altra tensione; nella prima canna la tensione ascese a linee 16 (e non a linee $11+8$ ossia 19, malgrado l'aria sviluppatasi, e questo forse perchè, essendo rimasta coperta l'acqua dall'olio, il vapore acqueo non avrà potuto manifestare tutta la sua tensione); nella seconda canna la tensione salì a linee 23 (il di più dalle 19 si dee attribuire all'aria svoltasi); avendo quindi levata tutta l'aria col rovesciare i tubi, la tensione si ridusse in entrambi a linee 15, cioè ad un valore intermedio fra la tensione del liquido più evaporabile e la somma delle due tensioni separate. Il non avere avuto un effetto uguale alla somma delle due tensioni non si sa se debbasi attribuire all'azione che effettivamente abbia un vapore giunto vicino alla saturazione di impedire la libera evaporazione di un

liquido di natura diversa, ovvero piuttosto al non avere potuto uno de' due liquidi adoperati presentare una superficie libera allo spazio vano della canna barometrica, trovandosi rivestito, in grazia dell'avvenuta agitazione, d'un sottile strato dell'altro liquido. Comunque sia, questo soggetto dovrebbe essere ancora studiato con altre sperienze, come lo stesso Bellani avverte.

Di alcune recenti sperienze riguardanti i vapori.

801. Abbiamo fatto cenno al § 743 della riduzione ottenuta dal sig. Faraday di varii gas allo stato liquido: diremo ora in che modo egli vi sia riescito; e per meglio fissar le idee esporremo la maniera usata per l'acido carbonico. Avendo egli curvato un robusto tubo di vetro nel modo che mostra la figura 21 e chiusa colla lucerna una sua estremità, fece arrivare in questa dell'acido solforico concentratissimo; quindi vi collocò sopra de' pezzetti di carbonato d'ammoniaca, tenendoli separati per mezzo di una foglia concava di platino. Chiusa in seguito colla lucerna anche l'altra estremità, mosse per modo il tubo che l'acido solforico venisse a contatto col carbonato d'ammoniaca, e ne separasse allo stato aeriforme l'acido carbonico. Infine, per isvolgere meglio quest'acido riscaldò alquanto con dell'acqua la estremità dove stavano coteste sostanze, e pose l'altra che era similmente volta all'ingiù, in una mescolanza frigorifica, la quale determinasse l'acido carbonico a condensarsi in liquido da questa banda. Un manometro poi chiuso precedentemente nel tubo indicava la forza espansiva di quella porzione d'acido carbonico che era ancora aeriforme, vale a dire la forza evaporante dell'acido liquido, e trovò che a 0° C. ella era di circa 36 atmosfere. Questa sperienza vuol essere fatta

con grandissima cautela, altrimenti è pericolosissima, potendo delle lievi cagioni far rompere il tubo con una spaventevole esplosione; è perciò d'uopo munirsi di maschere di vetro, di reti metalliche e di tutti que' ripari che sogliono usare i Chimici operando su sostanze che possono scoppiare. Simili erano i processi impiegati dal sig. Faraday per altri gas. Li faceva egli sviluppare entro tubi di vetro curvati e chiusi, e li determinava a liquefarsi per mezzo di mescolanze frigorifiche (*); con che si avevano ambedue le circostanze favorevoli alla liquefazione, la compressione cioè e il raffreddamento. Abbiamo poi detto altrove come con una fortissima compressione il Perkins abbia liquefatto anche l'aria.

Ecco una tabella delle temperature e delle compressioni colle quali sonosi resi liquidi diversi gas. Si avverte però che questi risultamenti non sono da riguardarsi che come prime approssimazioni da rettificarsi per mezzo di esperienze più precise.

Acido solforoso . .	+	7° C . .	2 atmosfere
Cianogene	+	7	3,6
Cloro	+	15,5 . . .	4
Gas ammoniaco . .	+	0 . . .	5
Idem.	+	10° . . .	6,5
Idrogeno sulfurato	—	16 . . .	14
Idem.	+	8 . . .	17
Acido muriatico . .	—	16 . . .	20
	—	4 . . .	25
	+	8 . . .	40
Acido carbonico .	—	11 . . .	20
		0° . . .	36
Ossido nitroso . . .		0 . . .	44
	+	7 . . .	51
Aria atmosferica		dalle 500 alle 1200.	

(*) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXIV, p. 396; *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1823, p. 236, 341, 422.

802. Il sig. Cagniard De La Tour fe' la seguente importante sperienza (*). Prese un tubo di vetro curvato a sifone (V. fig. 22), del quale un braccio era lungo e sottile e conteneva dell'aria, e l'altro era più largo, avendo l'interno diametro di circa due linee, ed era in parte riempiuto con un qualche liquido che tenevasi separato dall'aria dell'altro braccio per mezzo di un po' di mercurio. Saldate colla lucerna ambedue le estremità, andò riscaldando gradatamente il liquido in un bagno d'olio; con che veniva a convertirne una parte in vapore, e di questo misurava la forza espansiva guardando la condensazione dell'aria nel braccio sottile. Così operando gli avvenne di osservare che portata la temperatura sino ad un certo punto, tutto il liquido che rimaneva convertivasi istantaneamente in vapore, e il tubo pareva voto.

Ecco nella seguente tabella i risultamenti delle sue sperienze sopra diversi liquidi:

(*) *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1823, p. 431 e seg.

Nomi delle sostanze.	Temperatura della riduzione totale in vapore.	Volume del vapore rispetto al volume del liquido all' istante della conversione totale in vapore.	Tensione del vapore.
Etere solforico.	188°C.	3	37 ½
	188	6	42
	200	2	37 ½
Sulfuro di carbonio.	275	2 ½	78
Alcool	259	3	119
Acqua	alla fusione dello zinco (circa 370).	4	. . . .
Essenza di petrolio rettificata a 42° di Baumé.	. . . . .	2	. . . .

Nell' acqua la sperienza è più pericolosa e difficile che negli altri liquidi, attesa la grandissima forza espansiva che il vapore acquista, la quale facilmente fa rompere i tubi; questi d' altronde si rendono un po' opachi, e per impedirlo è buono l' unire all' acqua un po' di carbonato di soda.

Si potrebbe forse dar ragione del fenomeno col considerare che allorquando si fa scaldare gradatamente un liquido entro un vaso chiuso ove però vi abbia uno spazio vano atto a permettere lo sviluppo del vapore, siccome la densità del vapore (supposto mantenuto continuamente alla saturazione) si va successivamente aumentando, e siccome all' incontro, in forza della dilatazione operata nel liquido dal calorico, va la densità di un tal liquido continuamente diminuendo

(non ostante la crescente pressione esercitata su esso liquido dal vapore, la quale sembra non poter impedire che in piccola parte la suddetta dilatazione); così vi dev'essere una temperatura alla quale le due densità debbono incontrarsi, e i due stati coincidere fra loro, e al di sopra della quale temperatura non dee più quella sostanza avere contemporaneamente in uno stesso vaso due stati diversi, ma bensì uno stato unico cui stia a nostro arbitrio di riguardare o come quello di un vapore condensatissimo o come quello di un liquido grandemente dilatato. Secondo questo modo di vedere, quando il vaso sia molto ampio, talchè diffondendovisi uniformemente la sostanza contenuta si abbia una densità più piccola di quella corrispondente alla coincidenza de' due stati, in questo caso col successivo riscaldamento andrà la parte liquida gradatamente scemando fino a scomparire interamente, il che avverrà quando si abbia quella temperatura a cui la densità di saturazione del vapore uguagli quella della considerata massa supposta distribuita uniformemente nella capacità del vaso. E se in vece il vaso è troppo angusto, la parte liquida dee col successivo riscaldamento occupare una porzione gradatamente crescente della capacità del vaso medesimo, e in fine riempierlo affatto, il che sarà quando il liquido si sarà dilatato sino ad avere una densità uguale a quella della massa in questione supposta come sopra distribuita uniformemente nel vaso. Con ciò però noi spieghiamo bensì come nelle sperienze del sig. Cagniard De La Tour debba aversi la cessazione dello stato liquido, ma restiamo ancora all'oscuro intorno al salto con cui questa cessazione si effettua (*).

(*) L'idea della coincidenza de' due stati che io aveva esposta alcuni anni sono nel *Giornale di Fisica di Pavia* (anno 1823, p. 441), fu poscia emessa anche da Muncke (Gehler's *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, tom. II, pag. 297. Leipzig 1826), e da Pouillet (*Elémens de Physique*. Paris, 1827, t. I, p. 336).

Un'altra spiegazione che si potrebbe dare di questo fenomeno sarebbe quella di ammettere che la quantità di calorico resa latente nella vaporizzazione dei liquidi, divenendo sempre minore quanto più elevata è la temperatura, si riduca finalmente nulla (§ 731); nel qual caso il liquido, giunto a questa temperatura, dovrà convertirsi in vapore istantaneamente. Toccherà ad esperienze ulteriori il decidere della preferenza delle due spiegazioni, o il vedere se reggano insieme ambedue, o il trovarne altra migliore.

803. Parecchi liquidi, posti in contatto con una superficie riscaldata fino al rosso bianco, presentano il singolare fenomeno che in luogo di agitarsi e bollir vivamente, rimangono in riposo e mantengono lungo tempo il loro volume, come se la temperatura del vaso fosse insufficiente per l'ebullizione. Si può farne la sperienza col versare alcune gocce d'acqua in un crogiuolo o di vetro o di qualche metallo ridotto rovente; si vede la massa liquida prendere una forma rotondata agli orli come s'ella fosse del mercurio, e non bollire finchè dura l'arroventamento, ma tenersi tranquilla o aggirarsi velocemente intorno a se medesima. Lasciando però raffreddare il crogiuolo, arriva un istante, verso la temperatura del rosso bruno, che il liquido bolle impetuosamente e vien lanciato da tutte le parti. Il fenomeno non ha più luogo se l'acqua tiene sciolto qualche sale o qualche sostanza alcalina; allora ella bolle anche versata in un crogiuolo che sia rosso bianco (*).

Perchè si abbia una più esatta idea del fenomeno,

(*) Pouillet, *Élémens de Physique*, t. I, p. 358. Di questo fenomeno si occuparono fra gli altri: Eller nell'*Histoire de l'Académie de Berlin*, 1746, p. 42; Leidenfrost, *De aquae communis qualitatibus*, p. 30, citato da Musschenbroek, *Intr. ad Phil. Nat.* § 1458; Saussure, *Voyages dans les Alpes*, § 808 e seg.; Bellani, *Giornale di Fisica di Pavia*, 1816, p. 255; Klaproth, *Ann. de Chim. et de Phys.*, t. XXXV, p. 325.

descriverò una delle sperienze eseguite su questo soggetto dal Saussure (*). Aveva egli fatto arroventare un crogiuolo di rame alto 3 pollici, largo pollici 3 1/4 in alto e pollici 2 sul fondo, grosso 3 linee, e del peso di 57 once. In questo, mentre andava gradatamente raffreddandosi, egli versava l'una dopo l'altra delle piccole masse d'acqua distillata del peso di 52 grani ciascuna; e ne ottenne i risultamenti che seguono:

Numero delle masse d'acqua versate.	Durata dell'evaporazione di ciascuna massa.	Osservazioni.
1ª . .	109″	Crogiuolo rosso vivo, movimento giratorio del liquido senza fracasso nè vapor visibile.
2ª . .	225″	Crogiuolo quasi nero, movimento in giro simile.
3ª . .	165″	Piccolo fracasso sul fine.
4ª . .	35″	Fracasso e vapor visibile.
5ª . .	11″	*Id.*
6ª . .	8″	*Id.*
7ª . .	4″	Gran fracasso e grande quantità di vapor visibile.
8ª . .	3″	*Id.*
9ª . .	3″	*Id.*
10ª . .	3″	*Id.*
11ª . .	6″	*Id.*
12ª . .	17″	Il fracasso diminuisce.
13ª . .	400″	L'evaporaz. si compie senza ebullizione.

Bellani ripetè queste sperienze nel modo seguente. Introdusse egli nell'acqua un cilindretto di vetro d'un diametro fra una e due linee, arroventato per la lunghezza di circa un pollice, tenendolo immerso per modo che rimanesse sotto l'acqua soltanto nella parte ro-

(*) *Voyages dans les Alpes*, § 813.

vente. E vide che l'acqua suddetta rimaneva tranquilla intorno al cilindretto e senza bollire nè mandar vapori visibili; e anzi pareva ch'ella stesse alcun poco staccata dal vetro, provando però una specie di fremito o di frequente subsulto, o come una pulsazione o ondulazione piccolissima ma continuamente ripetuta per alcuni secondi; finchè raffreddatosi alquanto il vetro, cioè arrivato al di sotto del calor rovente visibile all'oscuro, l'acqua bolliva fischiando, e il vetro screpolava con istrepito, e continuando questo a rimanervi si divideva in minuti frantumi (*). Osservata poi la temperatura dell'acqua egli riconobbe che, a parità del tempo d'immersione, essa riceveva minore quantità di calorico dal cilindro quando questo era rovente, che quando egli aveva appena cessato d'esser tale.

Avendo il medesimo Bellani provato ad immergere nell'acqua un filo di rame ovvero di ferro portato al medesimo grado d'arroventamento, trovò che questo all'istante dell'immersione si spegneva producendo un sibilo continuato più o meno lungamente e occasionato dal vapore che si produceva al contatto di esso, e che dal freddo veniva nuovamente condensato. Però egli si assicurò che sciogliendo nell'acqua una piccola dose di sapone, può rimanere in questa per qualche tempo rovente anche il filo metallico, come fa il vetro nell'acqua pura. Esso vetro poi continua a mostrare la stessa proprietà anche in quest'acqua saponata, anzi vi rimane rovente per un tempo maggiore che nell'acqua pura.

Sottoposti al cimento altri liquidi, Bellani trovò che il mercurio e l'acido solforico spengono e raffreddano prontamente tanto il vetro quanto il metallo; l'etere e l'alcool in vece si comportano come fa l'acqua o pura o saponata col vetro, e come fa l'acqua saponata co' metalli.

(*) *Giornale di Fisica di Pavia*, 1816, p. 258.

In quanto alla cagione del fenomeno, tanto il Bellani quanto altri Fisici pensano che esso provenga da questo, che allorquando i corpi sono fortemente arroventati, sia che si tratti di vasi ove venga versata dell'acqua ovvero di cilindri che in essa si immergano, possono questi comunicare all' acqua stessa (o a quell'altro liquido qualunque che presenta il fenomeno) tanto calorico anche senza toccarla, da farle emettere una quantità di vapore sufficiente a tenerla distaccata dal contatto. Che se in qualche punto essa acqua viene forzata dal proprio peso e più dalla pressione atmosferica ad avvicinarsi al corpo rovente, immediatamente una nuova quantità di vapore formatasi respinge indietro quest' acqua e la obbliga a starsene lontana; e se avviene (la qual cosa vale specialmente pel caso del crogiuolo) che una bolla di vapore incominci a salire frammezzo alla massa liquida in grazia della propria leggerezza, il freddo delle parti dell'acqua alquanto più lontane dal solido rovente diminuisce immediatamente la tensione di questo vapore e il liquido viene ivi nuovamente obbligato dalla pressione atmosferica ad avvicinarsi al solido; e di qui ha origine quel subsulto o quella pulsazione che il Bellani ha osservato. Tenendosi così il liquido continuamente distaccato dal metallo, questo non può perdere calorico che per irradiazione e pel contatto col vapore contiguo e perciò lentamente, di maniera che si mantiene rovente per qualche tempo. E a vicenda il liquido non ricevendo calorico che co' mezzi suddetti dell'irradiazione, e del contatto col vapore già formato e riscaldato dal metallo, si dissipa in vapore con lentezza; e il vapore stesso viene perduto tranquillamente, parte evaporando alla superficie libera, e parte facendosi strada al di sotto e ai lati fra il solido e il liquido; ma l'ebullizione non può aver luogo, non arrivando mai il liquido ad avere nelle parti interne una temperatura superiore al termine dell'ebullizione, anzi essendo sem-

pre ivi alcun poco più freddo, stantechè un tal grado di temperatura è appena posseduto da esso liquido in quella parte della sua superficie che è più vicina al corpo rovente, ma non interamente alla superficie superiore o libera ove l'evaporazione dissipa calorico, e nemmeno nelle parti interne che hanno un grado di calore intermedio.

Quando all'incontro la temperatura del corpo solido si è fatta alquanto più bassa, non può più esso colla semplice irradiazione e col mezzo del vapore frapposto riscaldar tanto il liquido che la tensione del vapore medesimo basti a tener questo liquido staccato da esso solido; ma un tal liquido per la pressione atmosferica e pel proprio peso è forzato a venire in contatto del solido, al quale quando è arrivato, concorre anche l'attrazione del solido a tenervelo attaccato per qualche istante. Dopo però che è giunto a questo contatto riceve esso liquido una quantità di calorico molto più abbondante di quella che avrebbe potuto ricevere in distanza a pari tempo anche nel caso che il corpo fosse stato rovente. Si scalda adunque prontamente il liquido nel luogo del contatto al di sopra de' 100° C, o in genere al di sopra del punto dell'ebullizione; e si sviluppa quivi una certa quantità di vapore che impetuosamente si espande rimovendo momentaneamente il liquido suddetto dal contatto col solido od anche attraversando la massa del liquido medesimo. Ma partito o cessato questo vapore, torna il liquido, o nello stesso luogo o in altro, a ricadere sul solido, non bastando il calorico comunicato in distanza a mantenere la temperatura del liquido al di sopra del punto d'ebullizione e a tenere la tensione dell'emesso vapore a un grado sufficiente di forza, ossia a compensare pienamente la perdita di calorico che il liquido va facendo alla sua superficie superiore per la irradiazione e per la evaporazione, perdita che fa raffreddare anche la superficie inferiore di esso liquido; e

allora si rinnova un abbondante sviluppo di vapore; e così avviene una terza volta, e moltissime altre con grande rapidità. E per questi ripetuti contatti, quantunque interrotti, il corpo solido perde più abbondantemente il calorico, che non fa per irradiazione e pel contatto del vapore quando è rovente. E similmente il liquido, il quale evapora in proporzione della quantità di calorico ricevuta, passa allo stato aeriforme molto più prontamente, effettuandosi questo più pronto passaggio parte col sussidio della aumentata superficie del liquido a cagione delle bolle vaporose che sfuggono attraverso, e parte col favore della viva agitazione della massa liquida.

Si possono adunque concepire in queste sperienze due modi di conversione in vapore; nell'un d'essi, il quale ha luogo alle temperature più elevate, il liquido si scalda soltanto in distanza per irradiazione e pel contatto col vapore riscaldato dal metallo, e non passa allo stato aeriforme che per semplice evaporazione; nell' altro, che succede alle temperature meno elevate, il liquido si riscalda altresì per contatto e passa allo stato aeriforme eziandio per ebullizione; di maniera che ad onta della inferiorità della temperatura la conversione in vapore è più pronta in quest'ultimo modo che nel primo. Si deduce però dai primi due risultamenti della citata sperienza di Saussure, come pure dalle altre sperienze del medesimo autore su questo soggetto, che sino a tanto che seguita ad aver luogo solamente il primo modo, la vaporizzazione è tanto più pronta quanto più alta è la temperatura; di maniera che nelle dette sperienze il tempo impiegato nella vaporizzazione delle diverse goccie andò sul principio crescendo infino a quel punto che si continuò ad avere semplice evaporazione. S'accorciò questo tempo quando incominciossi ad avere qualche bollimento con fischio, ossia quando cominciò ad aver luogo qualche comunicazione di calorico per contatto, e seguitò ad accor-

ciarsi fino a che in grazia della maggiore frequenza e durata de' contatti andò facendosi più abbondante questa comunicazione, ad onta che per lo abbassarsi della temperatura del vaso si andasse rallentando la comunicazione del calorico da esso vaso al liquido nel tempo che durava ciascun contatto. Verso il fine poi, raffreddandosi il solido ancor più, e facendosi vieppiù lenta la comunicazione del calorico nel tempo che duravano i contatti, e prevalendo questo rallentamento all'effetto della maggiore durata dei medesimi, tornò di nuovo il tempo dell'evaporazione ad allungarsi, come viene mostrato dal terzultimo e dal penultimo de' risultamenti della sperienza di Saussure citata. E crebbe questo tempo ancor più, allorquando cessò affatto il bollimento e non potè continuare ad aumentarsi la durata de' contatti i quali si erano ridotti a un contatto non interrotto e non vi fu più che l'effetto della rallentata comunicazione di calorico fra il solido e il liquido; il che è quello che appare dall'ultimo de' risultamenti della sperienza medesima.

Alcuni Fisici, p. e. Klaproth nelle sperienze descritte negli *Annales de Chimie et de Physique* (*), non ottennero che l'acceleramento dell'evaporazione delle goccie a proporzione che il vaso si raffreddava; ma da ciò non si può trarre altra conseguenza, se non che le loro sperienze furono incomplete, e ch'esse non mostrarono che il secondo periodo delle sperienze di Saussure.

Quello che rimarrebbe ancora a conoscersi, sarebbe la ragione delle differenze che si osservano fra l'acqua pura e l'acqua salsa o alcalina ne' vasi metallici roventi, fra l'acqua pura e l'acqua saponata co' fili metallici immersi, in fine fra il vetro e i fili metallici

(*) Tom. XXXV, pag. 325.

immersi nell'acqua pura. Sul che aspetteremo che si facciano delle nuove sperienze.

804. Un altro singolarissimo fenomeno è quello che si è presentato in questi ultimi tempi al celebre Perkins (*). Essendoglisi screpolato un suo fortissimo *generatore* (così egli chiama un cilindro o un sistema di cilindri metallici destinati a vaporizzare l'acqua nelle sue macchine a vapore), udì bensì un sordo e e leggiero rumore, ma non vide uscirne nulla, benchè per l'alta temperatura del metallo il vapore vi dovesse avere una grandissima forza espansiva, come veniva anche comprovato dal vedersi che la macchina continuava a lavorare al pari di prima, sotto una pressione di 20 atmosfere. Lasciando poi diminuire il fuoco, e abbassare perciò alquanto la temperatura del generatore, si fece udire un piccolo fischio che in progresso divenne violentissimo, e allora tutta l'acqua e il vapore si sparsero sul fuoco.

Era naturale il dubitare che il non uscire nè acqua nè vapore mentre il fuoco era assai vivo, dipendesse dal trovarsi allora chiusa la screpolatura in conseguenza della dilatazione del metallo. Ma Perkins levò questo dubbio col fare un piccolo foro del diametro di $1/8$ di pollice all'estremità di uno di questi cilindri, e adattando con vite intorno a questo foro un lungo e robusto tubo di ferro, munito alla più lontana estremità di una chiave da aprirlo e chiuderlo: avendo fatto arroventare il cilindro nella parte ove aveva fatto il foro, e avendo quindi introdotta in esso cilindro dell'acqua, il vapore di questa arrivò ad una tal forza espansiva che riescì ad alzare una valvula di sicurezza carica del peso di 50 atmosfere; ma aperto il tubo di ferro, finchè la temperatura fu così elevata nulla ne uscì.

(*) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXXVI, p. 435.

È poi insussistente il dubbio sorto in alcuni (*) che l'acqua non ricevesse una bastevole copia di calorico attesa la distanza a cui ella si tenesse dalle pareti del cilindro mentre questo era rovente (come testè abbiam veduto avvenire delle goccie di questo liquido versate su' corpi roventi), talchè l'evaporazione si effettuasse lentamente, e il poco vapore uscisse dalla fessura senza strepito. A dissipare questo dubbio basta por mente alla grande forza espansiva che manifestava il vapore.

La spiegazione che dà Perkins del fenomeno, si è che il calore del corpo rovente teneva lontane da questo le molecole dell'acqua e del vapore per mezzo di un'azione repulsiva in distanza, talchè queste molecole non potevano insinuarsi nè per la screpolatura nè entro al foro se non nel caso che questi arrivassero a una certa larghezza.

È questo un fatto che merita d'essere diligentemente studiato, poichè se reggesse la spiegazione di Perkins, esso paleserebbe una nuova proprietà fondamentale del calorico, il che sarebbe per la scienza un acquisto importantissimo.

Sarebbe egli dovuto a questa medesima causa il fenomeno seguente? Se una liscia o strumento da dar la salda ai pannilini (chi mi assicurò del fenomeno aveva fatto le prove con quella sorta di liscie che sono formate d'una cassa d'ottone o di acciajo entro cui si pone un pezzo di ferro rovente), se, dico, una liscia vien collocata ben calda su d'una tavola ove sieno distese delle stoffe asciutte e che non sia perfettamente orizzontale, questo strumento sdrucciola da se su queste stoffe assai più facilmente che se è freddo. Nascerebbe il fenomeno da un'azione repulsiva del calorico la quale tenesse a qualche piccola distanza

(*) Pouillet, *Elémens de Physique*, t. I, p. 359.

l'ottone o l'acciajo dalla stoffa, vale a dire aumentasse d'assai la minima distanza che i due corpi hanno sempre quando si trovano ad apparente contatto, e facesse che alle elevate temperature le prominenze dell'uno di essi si insinuassero meno nelle cavità dell'altro, e così diminuisse l'attrito?

CAPO XIII.

DELL'UMIDITÀ ATMOSFERICA

805. Trovandosi estesissimi tratti della superficie terrestre coperti dalle acque del mare, ed essendo anche il suolo de' continenti in moltissimi luoghi assai umido dalle acque che lo irrigano e lo inzuppano, ne succede che dalla incessante evaporazione che si opera in tutti questi luoghi, viene a sollevarsi nell'atmosfera una grandissima quantità di acqua; e questa si depone bensì sovente nelle rugiade, nelle piogge, nelle nevi, ec., ma ve ne rimane sempre nell'atmosfera in una quantità notabile, che è più o men grande secondo le diverse stagioni e le diverse località.

Si fa il computo che nei nostri climi la quantità di acqua contenuta nell'aria vicino a terra varii dai 6 ai 12 grammi per metro cubico, ossia da $1/200$ a $1/100$ in peso della massa d'aria ove è disseminato. Ne' luoghi elevati questa quantità è molto minore, non essendosene rinvenuto da Humboldt e da Gay-Lussac, all'altezza di circa 6000 metri sopra il livello del mare, che un grammo appena per ogni metro cubico (*). Ma in alcuni luoghi bassi e di temperatura elevata, può trovarsene entro un metro cubico fino a 20 grammi. In generale ella è maggiore ne' luoghi caldi e

(*) Daubuisson, *Géognosie*, ediz. 1819, t. I, p. 31.

molto bagnati dalle acque, minore ne' luoghi freddi ed asciutti.

Quest'acqua può contenersi nell'aria in tutti e tre gli stati, vale a dire allo stato aeriforme o di vapore invisibile, allo stato liquido e allo stato solido. Lo stato più comune però è quello di vapore invisibile, e di esso noi intendiamo particolarmente di trattenerci nel presente capitolo.

Del vapore acqueo invisibile considerato nell' aria.

806. La parte maggiore, anzi quasi la totalità dell'acqua che si contiene nell'atmosfera è quella che vi si trova in cotale stato di vapore invisibile; ed è anche questo lo stato che viene da essa assunto in sulle prime allorquando esce dalle acque e da' luoghi umidi: e le quantità che abbiamo qui sopra esposte si riferiscono appunto a una tale modificazione. Nè questo vapore diminuisce sensibilmente la trasparenza dell'aria, la quale se si talvolta mostra torbida ed opaca, dee ciò attribuirsi principalmente agli atomi di polvere che vi stanno sospesi e al vapore visibile; solamente, come dicemmo altrove (§ 745), esso vapore invisibile ne rende le grandi masse alquanto bianchiccie. Però ne scema il peso, essendo la differenza fra il peso di una massa d'aria umida e il peso di un ugual volume d'aria asciutta che abbia la stessa temperatura e la stessa tensione, uguale a $^3/_5$ prossimamente del peso del vapore contenuto.

807. Di questo vapore talora l'aria è satura, contenendone tutta quella quantità che comporta la sua temperatura, ed allora diciamo che ella è *umidissima*, o *satura d' umidità*, o al *massimo di umidità*; e in questo caso ella depone facilmente il vapore su un gran numero di corpi, i quali manifestano in conseguenza di ciò diversi effetti; i legni, p. e., si gonfiano.

i sali vanno in deliquescenza, ec. In altri tempi in vece l'aria non ne contiene che una scarsa parte di quella quantità di cui a quella temperatura sarebbe capace; nel qual caso ella tende a ritogliere ai corpi l'umidità in essi esistente, producendovi degli effetti contrarii a quelli cagionati dalla deposizione del vapore; e allora dicesi ch'ella è molto *secca* od *asciutta*. Perfettamente asciutta poi, cioè affatto priva di vapore acqueo invisibile, ella non si trova mai, se già non ne venga privata con de' mezzi artificiali.

Il grado di umidità dell'aria, quando si voglia desumerlo dagli effetti, lo si deduce dalla maggiore o minore attitudine che ha essa aria a cedere vapore ai corpi che le si trovano in contatto; quando in vece lo si voglia desumere dal considerar l'aria in se medesima, il che in fine torna quasi allo stesso, si misura dalla proporzione fra la quantità del vapore che l'aria contiene e la quantità che ne dovrebbe contenere a quella temperatura per esserne compiutamente satura. Dico che torna quasi allo stesso, poichè il vapore si depone abbondantemente sui corpi quando l'aria n'è satura, si depone su essi scarsamente quando l'aria è molto lontana dal punto di saturazione, ed è la dose deposta più o men leggiera secondo che l'aria è più o meno lontana dalla saturazione medesima.

808. Stando all'ultima definizione, è facile il vedere che questo grado di umidità dipende da due circostanze, vale a dire: 1.° dalla quantità assoluta di vapore contenuta in un dato volume d'aria, 2.° dalla temperatura.

Cominciando dalla prima circostanza, noi diciamo ch'ella è la quantità di vapore *in un dato volume* d'aria, e non già *in un dato peso* d'aria, perchè un determinato spazio ad una determinata temperatura è sempre capace di una medesima quantità di vapore, sia densissima l'aria che vi può essere insieme, ovvero sia rarissima (§773); perciò quando in questo spazio si trovi

una data quantità di vapore, sarà sempre questa quantità una medesima parte aliquota della totale quantità di cui esso spazio a una tale temperatura è capace, e il grado di umidità sarà sempre quello stesso, senza che la densità dell'aria vi abbia parte veruna. Potrebbe alla temperatura, p. e., di $+10^{\circ}$ C. un dato spazio contenere una piccola proporzione di vapore in molta di aria, e questa essere umidissima; e all'incontro potrebbe alla stessa temperatura la quantità del vapore essere anche maggiore di quella dell'aria, e questa nulladimeno esser secca; basterebbe che nel primo caso l'aria fosse molto costipata ed anche il vapore, e che nel secondo fossero molto rari sì l'uno che l'altra, in guisa che la densità del solo vapore fosse notabilmente minore nel secondo caso che nel primo.

In conseguenza di ciò una medesima massa d'aria con una quantità di vapore sempre uguale, se verrà a dilatarsi senza cangiare di temperatura, diverrà secca, perocchè il vapore si farà anch'esso più raro e più lontano da quella densità che abbisogna per la saturazione; all'incontro se verrà a restringersi, pure venendo mantenuta alla medesima temperatura, ella diverrà più umida e potrà giungere al massimo di umidità, giacchè il vapore si farà più denso ed anche potrà arrivare a tale densità da saturare lo spazio in cui verrà ristretto.

809. L'altra circostanza che ha parte nel grado di umidità dell'aria è la sua temperatura, la quale quanto più è elevata tanto più, a pari densità del vapore, rende secca l'aria, e quanto più è bassa tanto più la fa divenire umida. In fatti se una data massa di vapore si troverà in uno spazio caldo, si potrà essa trovare assai lontana dalla quantità necessaria per saturarlo; laddove potrà saturarlo appieno ed anche sopravanzarne se la sua temperatura verrà ad abbassarsi.

Di qui è che all'estate la medesima aria che nelle

campagne e nelle strade si può dir secca, diverrà umidissima entrando in qualche luogo sotterraneo, e inumidirà e farà gocciare le pareti. Perocchè i luoghi sotterranei sono di state più freddi che i luoghi esposti all'aperto, e l'aria calda introducendovisi, per questa sua ragione del raffreddamento dovrebbe divenire più umida, ancorchè il freddo non ne restringesse il volume e non rendesse maggiormente denso il vapore, ed anche prescindendo dall'acqua che può trapelare dalle pareti. Tale è l'origine che Bellani assegna ad alcune fontane: ammette egli che l'aria entrando d'estate dale superiori aperture delle cavità che si trovano nel'interno di alcuni monti (p. e. di quelle cavità di cu abbiamo parlato al §. 631), e soffrendo ivi un notabile raffreddamento, ed anche costipandosi alquanto nel suo discendere a luoghi più bassi dove è maggiore la pressione atmosferica, depositi lungo queste cavità una parte del vapore acqueo contenuto, il quale ridotto in liquido scaturisca poi alla base de' monti medesimi. Di tali fontane arreca questo dottissimo Fisico diversi esempii, ne' quali non si può ragionevolmente atribuire l'origine di esse all'acqua delle nevi e delle piogge (1).

Tutto il contrario avverrà nell'inverno, nel quale l'aria se anche ne' luoghi aperti si trovi al massimo di umidità, si renderà molto secca entrando in camere riscaldate o in tali luoghi sotterranei dove le pareti non lascino trapelare l'umidità propria del terreno (2). E ciò per la doppia ragione, 1.° perchè il riscaldamento accresce in un dato spazio l'attitudine per contenere il vapore, 2.° perchè il riscaldamento medesimo dilatando l'aria rende più raro il vapore che in un dato spazio è contenuto. Non si trovano perciò in condi-

(1) *Annali delle Scienze del Regno Lombardo-Veneto*, anno 183, p. 208.

(2) Pictet, *Essais de Physique* p. 153 e 154.

zione sì miserabile come si crederebbe in sulle prime, in quanto almeno all'incomodo dell'umidità, que' popoli settentrionali i quali durante i rigori della fredda stagione sono astretti a vivere entro abitazioni sotterranee.

Deposizione dell'umidità sui corpi ed effetti nei medesimi.

810. ***Deposizione dell'umidità sui corpi.*** Il vapore acqueo che si trova invisibile nell'aria atmosferica tende a deporsi sulla esterna superficie de' corpi ed a penetrare nel loro tessuto (t. I, § 265), e, come si è già accennato, se ne condensa effettivamente su di essi e dentro essi una certa quantità che è tanto maggiore quanto più l'aria è vicina ad esserne satura. Nel quale effetto hanno azione tre diverse forze, cioè:

1.° La forza espansiva del vapore acqueo esistente nell'aria, la qual forza tende a far deporre quelle molecole di un tal vapore che sono le più vicine alla superficie de' corpi;

2.° La forza evaporante del vapore acqueo già deposto, la quale tende a restituirlo di nuovo allo stato aeriforme: non è noto se questa forza evaporante, per ciò che dipende dal solo velo liquido e prescindendo dall'attrazione del corpo su cui è deposto, sia di energia costante per tutte le grossezze che può avere il velo liquido medesimo, o s'ella varii col variare di queste grossezze; ma una tal cognizione non è necessaria per l'intelligenza di quanto siamo per dire;

3.° L'attrazione del corpo verso le molecole acquee: quando non si sia ancora deposta nessuna quantità di vapore, questa attrazione concorre colla forza espansiva del vapore medesimo a condensare e a far deporre sulla superficie del corpo alcune molecole acquee cioè quelle che gli sono più vicine; e quando se

ne sia già deposta una certa quantità, una tale attrazione contribuisce ancora allo scopo medesimo, deprimendo e talora annullando la forza evaporante del velo liquido deposto. Varia essa attrazione secondo la natura del corpo, e secondo che il suddetto velo liquido è più o men grosso. Finchè la quantità del vapore deposto è piccolissima o nulla, questa attrazione è molto energica, ed estingue o in tutto o in parte la già detta forza evaporante, e lascia che la forza espansiva del vapore costringa alcune delle molecole del vapore medesimo a deporsi sulla superficie del corpo, e ad introdursi ne' pori di questo. Crescendo la quantità deposta l'attrazione s'indebolisce, e la forza evaporante rimanendo meno contrastata si oppone con maggior vigore alla forza espansiva, rallentando prima la deposizione del vapore e poscia impedendola affatto; il qual totale impedimento ha luogo quando la quantità del liquido deposto è tale, che la forza attrattiva lascia alla forza evaporante una energia uguale alla tensione del vapore.

811. Dipendentemente da queste forze hannovi tre circostanze che influiscono sulla quantità di vapore che si depone sui corpi, la quantità cioè del vapore esistente nell'aria, la temperatura, e l'affinità del corpo verso l'acqua.

Cominciando dalla prima di queste circostanze, se nell'aria esiste poco vapore relativamente alla quantità che corrisponde alla saturazione dello spazio, poca è la quantità che se ne depone sui corpi; poichè esso gode allora di poca forza espansiva, e quindi per poco che se ne deponga, la forza evaporante del velo liquido formatosi, benchè ancor debole siccome quella che è fortemente contrastata dall'attrazione, e che è debole fors'anche per la sola ragione della sottigliezza del velo medesimo, può nullameno subito resistere alla ulteriore deposizione. Se nell'aria esiste maggiore quantità di vapore ed è perciò maggiore la tensione di questo, la

quantità che se ne dee deporre è più grande, poichè in sino a tanto che è piccola la quantità deposta e che è debole per conseguenza la forza evaporante attesa la grande energia dell'attrazione, non basta questa forza a resistere alla tensione, ma è astretta a lasciar ingrossare il velo umido deposto, e ciò fino al punto che coll'indebolirsi dell'attrazione essa forza evaporante sia divenuta abbastanza energica da porre un termine alla deposizione del vapore. Se infine il vapore si trova già allo stato di saturazione, in questo caso la forza evaporante non arriva ad equilibrare la tensione del vapore che allorquando il vapore deposto ha già interamente estinta l'attrazione, il che esige la deposizione di un velo umido molto grosso. Passando poi al di là della saturazione, oltre a questo velo dee deporsi tutta la quantità di vapore eccedente (§747).

812. La seconda circostanza è la temperatura. Se noi avviciniamo al fuoco un corpo stato inumidito dal vapore sparso nell'aria, la forza evaporante del velo liquido deposto si aumenta, e fors'anche diminuisce l'attrazione che verso lui ha il corpo. All'incontro la tensione del vapore suddetto contenuto nell'aria non si cangia, giacchè questo vapore e l'aria hanno campo di dilatarsi. Si rompe quindi l'equilibrio fra la tensione d'un tal vapore e la tendenza del liquido a evaporare, e notabile quantità di questo ripassa allo stato aeriforme; e ciò continua fino a che l'attrazione sorgendo più efficace giunge a rattenere la forza evaporante e a ristabilire l'equilibrio colla tensione del vapore. Viceversa se il corpo vien fatto raffreddare (come si otterrebbe ponendolo nel foco d'uno degli specchi che si usano nelle sperienze della riflessione del calorico, essendovi nel foco dell'altro specchio un pezzo di ghiaccio), si indebolisce la forza evaporante e nuovo vapore si depone, fino a che coll'ingrossamento del velo liquido deposto questa forza abbia riacquistata la medesima energia di prima. Se il raffreddamento passa

sotto il punto di saturazione, abbiamo già detto altrove che debba avvenire (§ 785).

Veggiamo di qui che ad una medesima quantità di vapore che si contenga nell'aria, i corpi ne possono assorbire poca quantità ovvero molta secondo che la loro temperatura è alta ovvero bassa; e che perciò a pari proporzione di vapore che l'aria contenga, questa ha tanto più attitudine a deporre vapore, quanto più per la sua bassa temperatura è vicina ad essere satura del vapore che contiene. Il perchè quelle circostanze (la temperatura cioè e la quantità del vapore contenuto) le quali portano l'aria più o men vicina ad essere satura di vapore, la rendono altresì atta più o meno a deporlo sui corpi, come si era già asserito. Può notare alcuno che nei casi contemplati in questo paragrafo, non vi ha soltanto variazione di temperatura onde questa si debba credere veramente atta a produrre da se sola disseccamento o inumidimento ne' corpi; ma che vi ha eziandio una rarefazione o una condensazione del vapore, una rarefazione allorquando la temperatura si eleva, una condensazione quando ella si abbassa; dimodochè queste sole potrebbero essere le dirette cause degli effetti, e la temperatura influire soltanto come causa di queste variazioni di densità del vapore. Ella è però cosa fuori di dubbio, che se anche l'aria e i corpi da essa inumiditi fossero chiusi entro un vaso inestensibile, talchè all'elevarsi della temperatura non potesse il vapore rarefarsi, ma dovesse crescere di tensione, è fuor di dubbio, dico, che lasciato trascorrere un tempo che bastasse a far partecipi del riscaldamento anche tutti i corpi racchiusi, una parte del vapore già in questi deposto dovrebbe di nuovo evaporare; e questo per la ragione che la forza evaporante si verrebbe ad aumentare più che non farebbe la tensione del vapore esistente nell'aria. E similmente quando l'aria chiusa nel vaso inestensibile e tutti i corpi in esso contenuti venissero a raf-

freddarsi, dovrebbe su questi condensarsi nuovo vapore.

813. Osservasi alcune volte che riscaldando un recipiente, i corpi contenuti danno segni d'aver assorbito una nuova quantità di vapore acqueo, comportandosi perciò in un modo apparentemente contrario a quanto or ora abbiamo esposto; e questo ha luogo principalmente se il recipiente sia voto d'aria: e viceversa succede talvolta che questi corpi mostrano di disseccarsi col raffreddare il recipiente (1).

Si ottiene assai comodamente un tale risultamento col mezzo di un igrometro a vescichetta di pesce (vedi più innanzi al § 842). Si introduce la parte igrometrica di questo strumento dal collo di una bottiglia, chiudendo poscia la bocca di questa con un turacciolo adattato a tale uopo e lasciandone fuori il tubo graduato, e si procura che entro a questa bottiglia l'umidità non sia molto lontana dal massimo affinchè il fenomeno riesca più sensibile. Si immerge quindi la bottiglia insino al collo in un' acqua che sia cinque o sei gradi più calda dell'interno della bottiglia medesima, e si vede l'igrometro marciare verso l'umidità massima: trasportata in vece la bottiglia in un' acqua più fredda, esso cammina verso il secco (2).

Avvengono questi fenomeni, perchè nel caso del riscaldamento il recipiente emette un po' di quel vapore che stava condensato sulle sue pareti; e sì per questa nuova quantità che si rende aeriforme e sì ancora, se il vaso è chiuso a tenuta d'aria, per la temperatura aumentata di questo, la tensione del vapore diventa più grande, senza che si accresca del pari la forza evaporante del liquido che si trova alla superficie o nel tessuto de' corpi contenuti; onde è

(1) Pictet, *Essais de Physique*, § 111 e 112.

(2) Bellani nel *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1816, p. 201. L'igrometro qui consigliato dal Bellani è quello a tubo di penna da scrivere, non avendo egli allora immaginato per anco quello a vescichetta di pesce.

che questi debbono assorbire nuovo vapore. È facile il dare la spiegazione per l'altro caso, il quale non è che l'inverso del precedente. Si possono da ciò spiegare parecchii fenomeni i quali a prima giunta si oppongono alle nostre idee intorno all'azione del calore sui corpi umidi. Involgendo un cilindro metallico in una stoffa ovvero in una carta a più doppii, e quindi accostandolo al fuoco, si trova in pochi istanti che esso è tutto bagnato. Mettendo del fuoco sotto le coltri del letto per riscaldarlo, tutta l'umidità si ferma sul di fuori, laddove sembrerebbe che il calore comunicandosi gradatamente tutto all'intorno dovesse disperderne ogni umidità (*).

814. Abbiamo in terzo luogo l'affinità. Sonovi dei corpi i quali coll'acqua hanno una affinità poco forte; alla superficie di questi, se l'aria non è molto umida, la forza evaporante dell'acqua suddetta non potendo venir molto indebolita, arriva prestissimo col deporsi del velo umido a equilibrare la tensione del vapore, e non permette che una leggierissima deposizione; e soltanto lascia formare un sensibile velo liquido allorquando l'aria è umidissima. Altri corpi in vece sono assai avidi di vapore, e su questi l'attrazione deprimendo notabilmente la forza evaporante permette una abbondante deposizione prima che si abbia l'equilibrio colla tensione del vapore medesimo. Tali sono il muriato di calce, il sale comune, ec. Anzi ve ne sono di quelli, per quanto pare che risulti dai fatti conosciuti, i quali sono dotati di sì forte affinità verso l'acqua, che estinguono affatto la forza evaporante del vapore che vi si va deponendo, e possono asciugare interamente lo spazio ove sono collocati. Tali sono l'acido solforico concentratissimo, il muriato di calce deaquificato, la potassa disseccata coll'arroventamento. Sogliono questi

(*) Bellani nel *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1816, p. 202.

usarsi dai Chimici e dai Fisici quando vogliono rendere asciuttissimi dell'aria o dei gas: talvolta si lasciano molto tempo queste sostanze in mezzo all'aria o ai gas che si vogliono asciugare, talvolta vi si fanno passare questi ultimi attraverso.

815. *Equilibrio igrometrico.* Quando in un medesimo luogo vi siano più corpi atti ad imbeversi d'una parte del vapore acqueo che in esso luogo si trova ma non ad asciugarlo interamente, questi rimanendovi per un tempo sufficiente prendono tutti infine tale quantità di vapore, che in ciascuno di essi l'azione libera della forza evaporante del liquido depostosi si trovi in equilibrio colla tensione del vapore che rimane sparso nell'aria, cedendo vapore a quest'aria quelli fra essi corpi che ne avessero oltre la quantità occorrente, e ricevendone dalla medesima quelli che ne avessero meno. È però molto diversa la quantità di vapore che viene presa da ciascuno, anche supposti di dimensioni uguali. Quelli che con esso hanno maggiore affinità a pari superficie ne prendono di più, poichè maggiore quantità ne fa ad essi bisogno, come s'è detto poc'anzi, per estinguere di tanto la loro affinità e per lasciare sì grande l'energia della forza evaporante, che questa possa uguagliare la tensione del vapore che riman nell'aria: quelli in vece che hanno col vapore una minore affinità ne prendono meno. Ridotti a questo punto si dicono tali corpi ad *equilibrio igrometrico* sì fra loro che coll'aria.

Se l'aria del luogo verrà a farsi più secca o perdendo vapore o rendendosi più calda (e supporremo che lo spazio non sia ermeticamente chiuso per istare più vicini a quanto suole avvenire in natura), tutti i corpi suddetti, lasciando loro il tempo sufficiente, perderanno una parte dell'umidità che contengono, quale di essi più e quale meno, tanto che in fine si metteranno tutti in equilibrio col nuovo stato dell'aria, cioè tanto che la parte libera della forza evaporante di ciascuno sarà

ridotta uguale alla tensione del vapore. Un' altra dose ne perderanno se l'aria diverrà ancora più asciutta; e così continueranno a mano a mano ch' ella si disseccherà, fino a che (e a ciò è forza ch' ella perda effettivamente del vapore) ella sia divenuta affatto priva di vapore: allora tutte queste sostanze si saranno portate al secco massimo, nè più altra acqua in esse rimarrà, che quella la cui forza evaporante è del tutto estinta dall'affinità.

Riceveranno in vece tutti del nuovo vapore, se l'aria o per aumento nella quantità del vapore medesimo o per raffreddamento diverrà più umida. E ciò sino a che si abbia il punto della saturazione. Arrivato questo, i corpi giungeranno ad essere interamente coperti e inzuppati di acqua, e l'affinità di essi col vapore sarà estinta interamente.

816. Possiamo qui osservare che avendosi una serie di corpi imbevuti di determinate quantità di umidità, e i quali ad una temperatura data sieno contemporaneamente in equilibrio con un dato stato igrometrico dell'aria, potranno i medesimi non essere più tutti in equilibrio con un altro stato d'aria anche scelto comunque quando si abbia una temperatura diversa; ma se alcuni lo saranno, altri saranno più secchi ed assorbiranno nuovo vapore, altri più umidi ne emetteranno. Per maggiore intelligenza supponiamo che l'aria e tutti quei corpi si trovino alla temperatura di $+10°$ C., e che il vapore contenuto nell'aria abbia la tensione di 5 millimetri. Se noi riduciamo l'aria del luogo a $+16°$ C., e vi aumentiamo la quantità del vapore, p. e. fino alla tensione di 7 millimetri, per modo che uno de' suddetti corpi senza perdere od acquistare molecole acquee possa anche alla nuova temperatura trovarsi all'equilibrio coll'umidità dell'aria; potrà questo equilibrio non aver luogo per tutti gli altri corpi, quando arrivino a conseguire quella medesima temperatura e conservino la medesima quantità di umidità che prima contenevano, ma in alcuni la tendenza ad emettere vapore supererà la tensione del vapore esistente nell'aria, in altri questa tendenza sarà minore. Egli

è probabilissimo in fatti che nel venire i suddetti corpi riscaldati di que' sei gradi le loro affinità coll' acqua che contengono, vengano a variare diversamente; per cui se dapprima queste affinità, attese le opportune dosi d'acqua contenute in ciascuno, deprimevano la forza evaporante di questa in guisa da lasciarne uguale in tutti l'effetto libero, nol faranno probabilmente più ad un' altra temperatura colle dosi d'acqua medesime, e l'effetto libero della forza evaporante non sarà più in tutti quei corpi lo stesso.

Nè questa è già una possibilità che da noi si immagini gratuitamente. Eccone in prova un fatto. Gay-Lussac avendo posto un igrometro a capello entro un recipiente ove si conteneva una soluzione di muriato di calce della densità 1,343, trovò che alla temperatura di +10° C. esso segnava 71°, col quale grado perciò il capello conteneva tanta umidità da essere a quella temperatura in equilibrio igrometrico colla soluzione. Scaldando questa sino a +20°,2 C., l'igrometro per porsi nuovamente con essa in equilibrio dovette assorbire una nuova quantità di vapore e salire a 73°,85 (*).

Una tale considerazione è molto importante nella dottrina degli igrometri, mostrando come due di questi stromenti che sieno stati graduati l'uno in confronto dell'altro a una determinata temperatura, potranno fra loro discordare a un' altra temperatura quando non sieno di una medesima sostanza.

817. *Azione sui corpi.* L'umidità penetrando i corpi vi produce diverse alterazioni, le quali variano dall' uno all' altro secondo la loro particolare natura. Le sostanze vegetabili fibrose, quali sarebbero i legni, si ingrossano trasversalmente senza soffrire alterazione sensibile nella loro lunghezza. E di questo gonfiamento de' legni, come altresì del restringimento quando si disseccano, ne abbiamo sott'occhio continuamente le prove. Ed è sì grande la forza che spiegano nel dilatarsi, che si è potuto impiegarla perfino nel rom-

(*) Biot, *Traité de Physique*, t. II, p. 207.

pere le pietre. Lavorate alcune specie di pietre a modo di grossi cilindri, e praticativi quindi all' intorno de' buchi disposti in più serie circolari, e in questi infissi a forza de' legni, e fatti imbevere questi ultimi di acqua (però bagnandoli e non contentandosi della naturale umidità dell' atmosfera), in capo a qualche tempo si trovano rotte, e se ne hanno de' corti e grossi cilindri utili ad uso di macine.

Le funi si ingrossano e si accorciano. Dell'ingrossamento è facile veder la ragione; non così dell' accorciamento, sul quale perciò gioverà fermarci un istante. È questo adunque una necessaria conseguenza dell'ingrossarsi delle fibre elementari che compongono le funi medesime e del non allungarsi esse sensibilmente. Perciocchè essendo nella fune ciascuna di queste fibre ravvolta a spirale, e dovendo ne' tempi umidi abbracciare co' suoi giri una massa divenuta più grossa, egli è d'uopo che ella ravvicini le sue estremità; a quella stessa guisa che un filo inestensibile fatto avvolgere d' un medesimo numero di giri prima intorno ad un cilindro sottile e poi intorno a uno più grosso, si dee estendere sul secondo per una minore lunghezza che sul primo.

La carta comune che è composta di un grandissimo numero di fibre vegetali intrecciate confusamente insieme, si stende secondo tutte le direzioni, tornando poscia a ritirarsi nel disseccamento.

Certi fili vegetali che naturalmente sono attorti si storcono; alcuni fiori secchi si chiudono, ec.

Le fibre animali si allungano; così fanno i capelli, la seta, ec. Le membrane animali, p. e. la pergamena, si distendono in tutti i versi.

Molti sali, se l'aria è assai umida ovvero se essi sono dotati di una forte affinità verso l' acqua, assorbono tanta umidità che in essa si sciolgono o come suol dirsi vanno in *deliquescenza*. Il veggiamo nel sal comune

quando l'aria è quasi satura di vapore, e nel muriato di calce anche quando sia assai secca.

Tutte queste sostanze che soffrono cangiamenti collo stare esposte all'umidità, si sogliono appellare *igroscopiche* od anche *igrometriche*. Ve n'hanno altre che non soffrono alterazioni nelle dimensioni, ma soltanto ne lasciano depositare alcun poco alla superficie; fra queste è, p. e., il vetro. Finalmente ve n'ha di quelle che hanno co' vapori dell'aria pochissima affinità, e che ne ricevono assai poco anche alla superficie: così fanno i corpi unti d'olio, così alcune vernici e alcune resine. Per difendere il vetro da quel velo umido che abbiamo detto e che assai nuoce nelle sperienze d'elettricità, giova assai l'intonacarlo di vernice *copal*.

Della misura dell'umidità dell'aria.

818. *Metodi igroscopici.* Quando si voglia semplicemente riconoscere se in due diversi luoghi ovvero in un luogo medesimo a due epoche diverse, vi sia lo stesso grado di umidità o un grado diverso, e sapere dove si trovi l'umidità maggiore, possono servire de' metodi anche poco accurati, de' quali ecco alcuni.

Uno si è quello di osservare lo stato de' corpi che sono soggetti a venire alterati dall'umidità. Quando noi veggiamo il sal comune divenir bagnato o andare in deliquescenza, noi ne inferiamo che l'aria è pressochè satura di vapore. Se in vece scorgiamo che i legni si restringono, che le corde d'intestini si rendono più tese dell'ordinario, noi concludiamo ch'ella è assai secca.

Gli Accademici del Cimento avevano immaginato di prendere un vaso conico ripieno di ghiaccio e tenuto colla punta rivolta all'ingiù, e di collocarvi sotto un

recipiente a raccogliere l'acqua che gocciava per la deposizione del vapore esistente nell'aria sulla superficie esteriore del vaso conico medesimo. Quanto era maggiore la quantità dell'acqua in un dato tempo raccolta, tanto più grande ne concludevano l'umidità.

Un metodo che al pari del precedente può dare una approssimata indicazione de' varii gradi di umidità, è quello di osservare la variazione di peso sofferta da una determinata massa d'acido solforico esposto all'aria libera. Questo assorbe vapore trovandosi in un'aria umida, ne perde in un'aria secca, e si mantiene nel suo stato quando l'aria ha tal grado di umidità che vi abbia equilibrio fra la forza espansiva del vapore esistente nell'aria e la forza evaporante che rimane all'acqua contenuta nell'acido solforico.

Un modo assai pronto, ma non capace di molta esattezza è quello di immergere il bulbo di un termometro nell'acido solforico, e di esporlo quindi all'aria libera, osservando il grado a cui ascende la temperatura da esso indicata pel calorico che si sviluppa dalla condensazione del vapore dell'aria e dalla sua unione coll'acido solforico rimasto aderente alla superficie della bolla (*).

819. Ma tutti questi metodi, sebbene in alcune circostanze possano tornare utili, sono del tutto insufficienti quando si tratti di determinare la precisa quantità del vapore esistente nell'aria. Considerando, p. e., l'ultimo di essi, noi troviamo che le sue indicazioni possono variare per molte circostanze indipendenti dall'umidità. Una di queste si è la grossezza del bulbo, la quale facendo che una medesima quantità d'acido solforico ora sia destinata a scaldare una maggior massa di mercurio ed ora una massa minore, è causa che un termometro mostri nelle stessissime circostanze

(*) Van Mons nel *Giorn. di Fis. di Pavia*, anno 1809, p. 78; e La Rive nella *Bibl. Univ.*, anno 1825, tom. 28, pag. 285.

atmosferiche delle indicazioni diverse da quelle di un altro: quattro termometri, p. e., del diametro di 1 centimetro ciascuno hanno fra tutti una medesima grandezza di superficie e si ricoprono di una medesima quantità d'acido solforico come un unico termometro del diametro di 2 centimetri; essi però, avendo fra tutti insieme una minor massa, si debbono riscaldare più di quest'ultimo. Una seconda circostanza è la grossezza delle pareti di vetro; quanto più queste son grosse, attesa la difficoltà che oppongono siccome poco conduttrici alla penetrazione del calorico che si sviluppa alla superficie delle bolle termometriche, lasciano tanto più tempo all'irradiazione di dissipare questo calorico, e il riscaldamento riesce tanto minore. Un'altra è la massa dell'acido solforico sollevato, e un'altra il diverso grado d'agitazione dell'aria; e queste due fanno diversificare le indicazioni di un medesimo termometro dall'una prova all'altra. Somiglianti difetti si riscontrano nel metodo degli Accademici del Cimento. Quello del peso dell'acido solforico ha l'inconveniente della lentezza nel mostrare il vero stato dell'aria; tuttavia sarebbe buono, e soltanto converrebbe fare molte sperienze preliminari, e formare delle tavole di corrispondenza fra il peso dell'acido e la tensione del vapore per ogni grado di temperatura, giacchè ad ognuno di questi gradi vi sarebbe una legge particolare. Quegli altri metodi finalmente che si sono accennati dapprincipio non danno che delle indicazioni grossolane.

Noteremo per ultimo, allo scopo di far meglio sentire la imperfezione di questi metodi, che talvolta usando contemporaneamente di parecchi di essi, se ne possono avere delle indicazioni opposte, dall'uno cioè de' segni di aumento di umidità, e dall'altro de' segni di cresciuto secco. Questo potrebbe succedere nel caso che le due circostanze influenti sull'umidità dell'aria, il calore cioè e la quantità del vapore

esistente nel luogo, si mutassero per versi differenti, in modo che l'effetto dell'una fosse un accrescimento de' segni dell'umidità, e quello dell'altra fosse una diminuzione de' medesimi. Poichè potrebbe nell'un metodo riescir maggiore l'uno effetto, e nell'altro metodo l'altro. Nella sperienza di Gay-Lussac citata poco sopra (§ 816), allorquando questi portò la temperatura dell'apparecchio da $+10^{\circ}$ C. a $+20^{\circ},2$., se noi consideriamo l'aria del vaso chiuso, il capello e la soluzione del muriato di calce, noi veggiamo che l'aria si *riscaldò* e si empiè di *maggiore quantità di vapore*, il capello diè segni di aumento d'*umido*, e il peso della soluzione avrebbe dato segni di maggior *secco*.

820. *Metodi igrometrici.* Volendo conoscere la precisa quantità del vapore contenuto nell'aria, conviene ricorrere a metodi alquanto più delicati, e usarvi molto più diligenza di quella che occorre pei precedenti.

Uno di questi il quale può chiamarsi *Metodo dell'appannamento*, è quello stato immaginato da Leroi e seguito poscia da Dalton in diverse sue sperienze, ed è il seguente. Si prende un bicchiere con dell'acqua fredda, e recatolo nel luogo di cui si vuol misurare l'umidità si osserva se esteriormente si appanni. Quando ciò avvenga si versa il liquido in un secondo bicchiere che abbia la superficie esteriore asciutta; e se anche questo si appanna, si torna a versar nel primo dopo avere asciugato questo diligentemente; e se è d'uopo si rimette di nuovo il liquido nel secondo, e quindi ancora nel primo, sempre asciugando l'esterno de' vasi, e seguitando fino a che cessi la deposizione visibile del vapore. Si tien conto in ciascuna volta della temperatura del liquido, e finita l'operazione si determina con la maggiore esattezza che si può la temperatura che è stata l'ultima a lasciar deporre vapore, e a questa, quando si possa e la grossezza delle pareti de' bicchieri e la poca conducibilità loro lo

esiga, si fa la debita correzione per poter avere la temperatura che ha la superficie esteriore quando cessa la deposizione (*). Quando in vece il freddo dell'acqua non faccia in sul principio deporre del vapore, si va raffreddandola maggiormente col porvi entro a poco a poco del ghiaccio o qualche altra sostanza che la raffreddi, e si determina il grado di temperatura della esteriore superficie al quale incomincia la deposizione del vapore.

821. Trovata nell'un modo o nell'altro la più elevata temperatura che fa deporre il vapore dell'aria, noi possiamo da essa temperatura dedurre con una certa approssimazione la tensione di questo vapore, la sua densità, la sua proporzione coll'aria asciutta, e tutte in genere le cognizioni che possiamo desiderare. Per avere la tensione non si fa altro che ricercare nella tavola del §752, quale sia la tensione corrispondente alla temperatura trovata; perciocchè accanto alla superficie del vaso, nell'istante che incomincia la deposizione, esso vapore ha appunto questa temperatura e insieme si trova alla saturazione, e perciò ha cotesta tensione che diciamo; e siccome il freddo nel caso di queste sperienze non muta che i volumi dell'aria e del vapore ma non le tensioni (§ 785), così questa trovata tensione è quella altresì che ha il vapore nell'aria non raffreddata, o quella almeno che esso avrebbe se esistesse solo in quello stesso spazio. Come si possa ritrovare la densità e la proporzione coll'aria asciutta apparirà più chiaro da un esempio.

La mattina 7 giugno 1827 posi dell'acqua in un bicchiere di vetro con del ghiaccio, e quindi dopo sciolto il ghiaccio la andai versando da questo bicchiere in un secondo, e da questo secondo nel primo fino alla cessazione dell'appannamento; il che

(*) Per eseguire questa correzione può servire un metodo proposto da Bellani nel *Giornale di Fisica* di Pavia, anno 1816, p. 444.

avvenne fra + 9° R. e + 10° R.; a + 9° si deponeva ancora vapore, a + 10° non se ne deponeva più. Ammetto adunque che la deposizione del vapore sia cessata a + 9°, 5. R., ossia a + 11° 7/8 C. La temperatura della camera era di + 15° R., ossia + 18°,75 C. La pressione dell'atmosfera era di 27 P, 5 l, ossia di millimetri 742,2.

Cominciando dalla tensione, la tavola del § 752 ci fa conoscere che corrispondentemente a + 11° 7/8 C., ella è mill. 10,62; tale è dunque la tensione o forza espansiva del vapore allora esistente nell'aria.

Alla suddetta temperatura di + 11° 7/8 C. la densità di esso vapore sarebbe, rispetto all'acqua a 0°, espressa da 0,00001078. Alla temperatura + 18° 3/4 esso sarà più raro nella ragione di [266 2/3 + 18 3/4]: [266 2/3 + 11 7/8], ossia di 1370 : 1337, e però sarà della densità 0,00001052.

Riguardo alla proporzione in peso coll'aria asciutta rimanente osserveremo che la parte di pressione sostenuta dalla sola aria asciutta è millim. 731,58, e che perciò la tensione del vapore associatovi è $\frac{10,62}{731,58}$ di quella di essa aria; ora siccome ad ugual tensione il vapore pesa 0,620 del peso di un ugual volume d'aria, così nel nostro caso dev'essere il suo peso rispetto a quello dell'aria asciutta che gli sta insieme, nella ragione di 0,620.10,62 : 731,58, ossia di 1 : 111. E volendo far paragone col peso della massa totale dell'aria e del vapore, sarà il peso del semplice vapore al peso dell'aria mista :: 1 : 112.

Volendo paragonare l'aria umida cimentata ad altra aria perfettamente asciutta e sottoposta alla stessa pressione e dotata della medesima temperatura, affin di vedere di quanto il vapore alleggerisse la prima, si osserverà che rappresentando per 742,2 il peso di un dato volume di cotale aria asciutta, doveva essere rappresentato da 731,58 il peso della parte d'aria

asciutta che si trovava in un volume dell'aria umida uguale al dato, e da 10,62. 0,620 il peso del vapore associato a quest'aria; e che perciò il peso totale dell'aria umida contenuta in quel dato volume doveva essere rappresentato da 731,58 + 10,62. 0,620, ossia da 735,16. La differenza fra i due pesi era adunque 10,62 (1 — 0,620), ossia 4,0356, che è $1/184$ del peso dell'aria asciutta. L'umidità pertanto alleggeriva l'aria nel citato giorno e nel luogo della sperienza di $1/184$.

Si vede da quanto abbiam detto che la temperatura a cui incomincia l'appannamento vien riguardata siccome quella che riduce all'umidità massima ovvero alla saturazione l'aria ove si eseguisce l'esperienza. Quest'ultima temperatura poi vien chiamata alcune volte il *termine di saturazione.*

822. Per facilitare queste sperienze fu immaginato dal sig. Daniell uno strumento, che dal nome di lui si appella l'*Igrometro di Daniell.* Esso è un tubo di vetro ricurvo alla guisa di U rovesciato (vedi la fig. 23), terminato alle due estremità con due bolle, l'una delle quali, riempiuta in parte di etere, contiene un termometro col bulbo per metà sommerso, l'altra è vota sì d'ogni liquido che d'aria, e tale per necessità è anche il tubo. Per farne uso si avvolge alla bolla vota un pannilino bagnato e lo si inzuppa di etere; questo evaporando raffredda la bolla che ne è ricoperta, vi fa condensare sulle pareti il vapor d'etere contenuto, e determina a evaporare e a raffreddarsi l'etere dell'altra bolla e ad appannarsi l'esterno di questa; il che appena che s'incominci a scorgere, si osserva il termometro rinchiuso nello strumento, e la temperatura da esso indicata si ritiene per quella che può condurre alla saturazione il vapore sparso per l'aria.

Questo strumento però, sebbene molto ingegnoso, non manca anche di qualche difetto. Uno molto grave consiste nella difficoltà di poter cogliere il preciso

istante nel quale incomincia l'appannamento; poichè noi non ce n'accorgiamo che allorquando il velo liquido deposto è già alquanto grosso, e il freddo sì alla superficie esteriore del vetro, come anche e più ancora nell'interno della bolla, ha già oltrepassato il punto che determina la deposizione del vapore (*); e si aggiunge altresì che la trasparenza del vetro rende difficile l'osservazione. Un altro difetto sta nell'intervallo di tempo che dee necessariamente trascorrere tra l'istante in cui si scorge il primo appannamento, e quello in cui si finisce di riconoscere i gradi indicati dal termometro interno, quando almeno questi gradi si vogliono avere con certa precisione; e anche questo inconveniente contribuisce a farci comparir maggiore il freddo necessario a far deporre il vapore. E qui tralascio la considerazione che il termometro interno, essendo posto nel voto, o per dir meglio in un luogo dove non vi ha che la tensione del vapore dell'etere, dee segnare qualche decimo di grado centigrado meno del dovere (§ 652); la tralascio essendo questo un inconveniente che l'artefice avrà potuto schivare nella costruzione dello strumento; ma se non l'avesse evitato, concorrerebbe anche questo a mostrare un freddo troppo grande. Oltre a ciò la vicinanza a cui dee necessariamente trovarsi l'osservatore fa che questi aggiunga qualche poco d'umidità all'aria contigua allo strumento e che perciò l'aria dell'atmosfera venga giudicata più umida di quel che è: un tale inconveniente compensa a dir vero in parte i precedenti, ma è sempre una causa d'incertezza e d'errore. E senza ciò, supposto anche che non influisse per niente la presenza della persona, e che l'occhio di questa riescisse a cogliere l'istante del primo appannamento, e che nello stesso istante po-

(*) Gehler's *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, t. V, p. 652, 654.

tesse altresì riconoscere le indicazioni dell'unito termometro, chi può assicurare che questo termometro vada progressivamente raffreddandosi colla medesima legge della esteriore superficie della bolla ove si depone il vapore, in guisa da mostrarne esattamente ad ogni istante la temperatura?

823. Per ovviare ad alcuni di questi difetti e per rendere più semplice lo strumento, si è esso modificato in molte guise, le quali si possono vedere specialmente nella nuova edizione del Dizionario Fisico di Gehler (1). Fra queste modificazioni io non citerò che quella di Doeberreiner (2), la quale quantunque non sia la più semplice, è quella nulladimeno che io stimo la migliore. Consiste l'Igrometro immaginato da questo Fisico in un vaso cilindrico a pareti sottili e ben liscie di ottone, ripieno di etere, e ove si trova contenuto un delicato termometro. Si fa in esso gorgogliare dell'aria per mezzo di una siringa, la quale mediante una canna opportunamente ricurvata e che entra dall'orlo superiore del vaso guida essa aria in sul fondo del vaso stesso, facendola ivi uscire nell'etere da molti piccoli buchi; e v'ha nel coperchio del vaso un'altra canna curvata all'ingiù la quale conduce lontano l'aria dopo che si è caricata di vapore d'etere. E si continua l'operazione fino a che s'incomincia a scorgere un leggierissimo appannamento sulla esteriore superficie del vaso. Il merito dello strumento consiste principalmente nel potersi esso raffreddare con quel grado di lentezza che si vuole, con che le indicazioni del termometro possono aversi molto esatte.

824. In tutte queste modificazioni però si ha sempre l'incomodo di dover aspettare il primo appannamento, il quale è cosa di un unico istante; e se appena si tarda a poterlo scorgere, l'osservazione è

(1) T. V, p. 616 e seg.
(2) *Ibid.* p. 619.

perduta. Io ho cercato di togliere questo incomodo, ed ho immaginato e fatto costruire un altro Igrometro di cui qui soggiungo la descrizione e che io chiamo *Igrometro ad appannamento*. È questo rappresentato dalle figure 24, 25, 26 e 27 della tavola I, e consiste ne' seguenti pezzi:

1.° Una canna di ferro *AB* (fig. 24 e 25) colla cavità interna cilindrica, e colla esterior superficie di forma esagona, essendo in quest'ultima ridotte a perfetto pulimento tre faccie fra loro contigue; inferiormente ella è terminata in un calcio *C* (fig. 25 e 26) solcato profondamente tutto all'intorno per moltiplicare la superficie di contatto col liquido freddo ove esso calcio si deve immergere.

2.° Un vaso di rame *EFGH* (fig. 25) rivestito esternamente sì all'intorno che al di sotto di lamine di sughero per la grossezza di un pollice, e cinto più esternamente d'un altro vaso di ottone *KLMN* (fig. 24 e 25). Questo secondo vaso è alquanto più alto, di maniera che la parte che sopravanza cinge e ritiene un coperchio di legno o di sughero sovrapposto all'interno vaso di rame; il quale coperchio di sughero poi è diviso in due metà collocate l'una a fianco dell'altra, ed ha nella parte centrale un vano per cui può passare la canna di ferro; al di sopra poi di questo coperchio di sughero ve n'ha un altro d'ottone *PQ* (fig. 24, 25 e 26) tutto di un pezzo, forato similmente nel mezzo perchè vi passi la canna e insieme un piccolo risalto del coperchio di sughero, il quale risalto sta intorno ad essa canna e giova a tener separati i metalli. L'interno vaso di rame ha alla parte superiore delle pareti interne due strette cavità atte a ricevere le gambe del pezzo metallico *RS* (fig. 25 e 27), il quale insieme col coperchio *PQ* serve a tener ferma e ritta la canna. Si colloca adunque questa canna entro al recipiente più interno, tenendovela fermata in direzione verticale, e in guisa che entri nel vaso il solo

calcio, e che questo scenda sino alla metà del vaso medesimo. È però d'uopo che essa canna non si trovi a immediato contatto nemmeno col pezzo *RS* ma che ne stia separata, p. e. con un giro di cartone: senza di ciò e senza il menzionato risalto del coperchio di sughero una tal canna irrugginirebbe a cagione dello stato di elettricità positiva che verrebbe ad acquistare (t. I, § 303); ed anzi giova legare una foglia di zinco all'intorno della canna stessa appena al di sopra del calcio, affine di difenderla meglio dall'irrugginimento. E questo calcio si fa che inferiormente abbia un foro entro cui con cera lacca sia saldato un cono di ottone, che riceva la punta metallica *T* (fig. 25); così questa punta sostiene e ajuta a tener diritto il suddetto calcio senza aver secolui nessuna comunicazione metallica. Nel vaso medesimo, all'intorno del calcio menzionato, si pone acqua e ghiaccio pesto, ovvero in certe circostanze qualche mescolanza frigorifica, destinata a raffreddare la canna e a determinare l'appannamento fino ad una certa altezza. Lo strato di sughero colla sua poca conducibilità giova a impedire l'entrata nel vaso al calore esterno che in breve farebbe liquefare il ghiaccio; e il vaso esteriore serve a impedire che il sughero si inzuppi di acqua a cagione dell'umidità atmosferica che vi si deporrebbe e che ne aumenterebbe la conducibilità.

3.° Un termometro a mercurio *abc* (fig. 24 e 25) diviso in gradi centigradi e in decimi di grado, il quale si fa discendere entro la canna di ferro, precedentemente riempiuta di mercurio fino a tale quantità che appena non se ne versi nel calarvi il termometro. Questo termometro è munito di un'armatura d'ottone *def*, *d'e'f'* (fig. 24 e 25), la quale abbraccia e stringe l'uno contro l'altro due spigoli opposti della canna, ed è capace di sostenere il termometro nelle diverse posizioni a cui vien recato

colla mano; ed è una tale armatura terminata inferiormente in due punte *f*, *f'* colle quali il centro della bolla del termometro dev' essere in retta linea orizzontale.

825. Ecco ora in qual modo viene adoperato un tale strumento. Collocato il calcio della canna di ferro entro il vaso di rame, si riempie questo di ghiaccio pestato o d'una mescolanza frigorifica, aggiungendo un po' d'acqua affinchè il suddetto calcio si trovi ad immediato contatto colla sostanza che il dee raffreddare, e si ricopre quindi il vaso mediante il coperchio di sughero che esso pure si copre poscia col coperchio di ottone *PQ*. Dopo ciò si riempie la canna di mercurio, e introdottovi il termometro, si lascia lo strumento a se medesimo, tenendosi l'osservatore lontano colla persona, e procurando che intanto l'aria non venga agitata. Avviene dopo qualche tempo che il freddo, propagandosi a poco a poco nello strumento per la sottrazione del calorico operata dal ghiaccio o dalla mescolanza frigorifica, determina la deposizione del vapore contenuto nell'aria sopra una parte della superficie della canna, la quale deposizione riesce visibilissima nelle faccie lucide, e con un limite sì preciso che non arriva ad esservi una linea di pollice parigino di incertezza. Allora si fa discendere il termometro fino a che le due punte dell'armatura sieno a livello col limite dell'appannamento, e dopo alcuni istanti si guarda quale temperatura venga da esso indicata; e questa è la temperatura che riduce alla saturazione il vapore acqueo esistente nell'aria. La canna infatti dopo un certo tempo che è lasciata a se medesima prende una temperatura gradatamente decrescente dall' alto al basso; e questa degradazione della temperatura in sulle prime si muta elevandosi a poco a poco il freddo, ma alla fine si rende pressochè stazionaria, tanto essendo il calorico che alla canna viene continuamente sottratto dal calcio, quanto quello che la canna stessa

va ricevendo sì dal contatto dell'aria che vi passa vicino, come dall'irradiazione de' corpi esteriori, dalla luce che viene assorbita, ed anche dal vapore quando questo incomincia a deporvisi. E una siffatta degradazione ha luogo con tal legge che tutti i punti di una medesima sezione orizzontale hanno prossimamente la stessa temperatura; perocchè il mercurio si dispone a strati orizzontali, stando al di sotto gli strati più freddi e seguendosi gradatamente l'un sopra l'altro i più caldi, e le pareti di ferro prendono ne' loro diversi punti una temperatura prossimamente uguale a quella del mercurio contiguo, attesa la loro molta facoltà conduttrice e la poca grossezza che lor si procura di dare: sarebbe da eccettuarsi il caso che lo strumento venisse esposto alla luce solare o ad altre possenti cause di riscaldamento che operassero con diversa energia sulle diverse faccie della canna, nel qual caso si determinerebbero nel mercurio de' moti idrostatici che altererebbero la suddetta legge; ma un tale caso si cerca di evitarlo nell'uso dello strumento. Il mercurio adunque contenuto entro la canna, nelle molecole che sono a livello del limite dell'appannamento, è anch'esso prossimamente alla temperatura della superficie esterna della canna medesima ne' punti ove comincia esso appannamento. E il bulbo del termometro, prendendo la media delle temperature degli strati di mercurio che il circondano, si trova esso pure alla suddetta temperatura del confine dell'appannamento. Siccome poi lo strato d'aria che passa immediatamente accanto alle pareti esterne della canna, prende mano mano nel suo discendere le diverse temperature che ha la canna medesima ne' punti contigui ad esso strato, e siccome ella dee incominciare a depositar vapore appena che la sua temperatura sia discesa sotto al termine della saturazione; così la suddetta temperatura posseduta dalle esterne pareti al limite dell'appannamento e indicata dal termometro dello strumento, è

ippunto quella, secondo che si è già detto altrove, a quale porta alla saturazione il vapore sparso per ' aria.

Per meglio assicurarmi che la temperatura indicata nternamente dal termometro è quella stessa che ha uogo all'esterno della canna al limite dell' appannamento, quantunque già m' inducesse a crederlo la molta conducibilità del ferro, essendo questa circa 30 volte più grande di quella della porcellana (§ 478) e forse in egual numero di volte maggiore di quella del vetro, ho fatta la seguente sperienza. In una giornata secchissima (il 19 marzo 1831), nella quale la temperatura dell'aria entro la camera era di circa + 15° C., il termine di saturazione nella camera medesima avanti il tramontare del sole e a finestre aperte era alquanto inferiore a 0°, però alla sera a finestre chiuse era superiore a 0° ma di poca cosa, ho preparato il mio strumento con una mescolanza frigorifica; e verso le 9 pomeridiane ho calato il termometro fin dove il vapore deposto cominciava a mostrarsi agghiacciato, ed ho avuto $1/16$ di grado centigrado sopra 0°; e lo stesso ho ottenuto in un' altra prova fatta mezz' ora dopo. E questo sedicesimo di grado io lo credo dovuto parte alla temperatura del mercurio contenuto nel tubo del termometro il qual mercurio si trovava sopra a 0°, e parte alla compressione operata dal mercurio contenuto nella canna, il quale premeva esternamente la bolla, sopravanzandola per l' altezza di due decimetri; senza queste due cause d' errore io stimo che si avrebbe avuto quasi esattamente 0°, laddove si sarebbe aspettato di trovare nello strumento qualche frazione di grado sotto 0°, cioè sotto la temperatura della superficie esterna della canna (*).

(*) Una tale sperienza era già stata proposta da Bellani nel *Giornale di Fisica di Pavia*, anno 1816, p. 444, come abbiamo accennato nella nota al § 820.

826. Le avvertenze necessarie nell'uso di questo strumento sono:

1.° Di tenere la canna sempre lucida, nettandola sovente con un pannilino ben netto. Ogni leggierissima lordura che imbratti le faccie lucide, fosse anche quella che può lasciar l'alito nostro nel volatilizzarsi, rende confuso il limite dell'appannamento, forse perchè con essa viene ad aumentarsi il potere assorbente della canna suddetta in un modo irregolare, il che determina una men regolare distribuzione della temperatura sulla superficie della canna medesima.

2.° Di prendere le indicazioni piuttosto allorquando l'appannamento ascende sulla superficie della canna, anzichè quando, o per riscaldamento dell'ambiente o per terminata liquefazione della mescolanza frigorifica o per altro, esso appannamento torna nuovamente a discendere; perciocchè in quest'ultimo caso l'appannamento forma un velo alquanto grosso che ha difficoltà a svaporare, e il limite di esso compare più elevato nello strumento di quello che dovrebbe, e maggiore ne appare l'umidità. Allorquando si dubita di ciò (e suole esserne indizio il vedersi questo appannamento con un limite estremamente preciso), si asciuga lo strumento con un pulito pannilino, e si aspetta un nuovo appannamento, il quale ricompare in pochi secondi.

3.° Di tenersi, come si è già detto, lontani colla persona; altrimenti l'aria s'inumidisce, e l'appannamento s'innalza al di sopra del dovuto segno. Quando perciò occorre di avvicinarglisi, conviene tenere avanti il volto una lamina di vetro; e quando si muove il termometro gioverebbe aver la mano rivestita di un guanto impermeabile all'umidità. Si ha però il vantaggio che allorquando o la mano o il volto rende più umida l'aria in contattò dello strumento, noi ne siamo avvertiti dal vedere confuso e irregolare il li-

mite dell'appannamento; allora noi ci ritiriamo e lasciamo lo strumento a se. E questo vantaggio manca negli altri stromenti fondati su questo principio della deposizione visibile del vapore, ne' quali noi non abbiamo nessun segno per conoscere se le indicazioni sieno esatte o no.

4.° Di correggere le indicazioni del termometro diminuendole opportunamente di una leggiera quantità. Perciocchè, come si è accennato sul fine del precedente paragrafo, esse sono in primo luogo maggiori del vero di qualche centesimo di grado per la pressione del mercurio che circonda la bolla; del quale eccesso si può riconoscere la grandezza per mezzo di prove preliminari, curvando lo strumento orizzontalmente e osservando di quanto s'aumentino le sue indicazioni per la cessazione della interna pressione del mercurio (§ 658). In secondo luogo quel mercurio che è contenuto nel tubo si trova esposto ad una temperatura alcun poco più elevata di quella della bolla, il che fa aumentare le suddette indicazioni dello strumento di qualche altro centesimo di grado; come si possa determinare l'effetto di questa seconda causa d'errore l'abbiamo pure già veduto in altro luogo (§ 654).

827. I vantaggi di cui gode questo strumento in preferenza di quello di Daniell e degli altri fondati sugli stessi principii, sono, oltre a quello testè menzionato (§ 826, 3.°), i seguenti:

1.° In luogo di aspettare l'*istante* del primo appannamento, in questo strumento si ricerca il *luogo* ove la temperatura comincia a determinare l'appannamento medesimo. E questa seconda maniera d'osservare è senza paragone più comoda ed esatta; più comoda, perchè evidentemente egli è assai più facile il muovere colla mano un termometro fino ad un determinato visibile segno e guardarne a tutto bell'agio le indicazioni, che non il determinare l'istante in cui

avviene la prima deposizione del vapore, e quindi portare immediatamente l'occhio ad un termometro che si va rapidamente raffreddando, e riconoscere al momento i gradi che questo segna; più sicura, perchè non è già il velo deposto in uno o in due secondi che conviene osservare, ma bensì quello deposto e accumulato nella durata di uno o due minuti primi e anche più, per cui esso velo è senza paragone più visibile.

2.° Questo strumento indica lo stato igrometrico dell'aria in un modo permanente, e non già per un semplice istante. Contenendo il recipiente un chilogrammo di ghiaccio, può esso, anche d'estate, stare in azione per tutta una giornata, dalla mattina fino a notte avanzata.

Egli ha poi in comune cogli altri strumenti di simil genere il vantaggio di indicare tanto l'umidità assoluta dell'aria quanto l'umidità relativa. L'umidità assoluta è dimostrata dalla temperatura che determina l'appannamento, dalla quale temperatura si può dedurre la assoluta quantità di vapore contenuta in un dato volume e in una data massa d'aria, come si è già veduto poco sopra (§ 821). E l'umidità relativa viene indicata dalla differenza fra la suddetta temperatura che determina l'appannamento e la temperatura dell'ambiente, tanto più secca essendo l'aria, quanto più grande è una tale differenza.

Non debbo però tacere che a questo strumento io non ho ancora potuto dare una costruzione comodissima, e che io credo potere esso piuttosto servire per un Fisico il quale voglia instituire una serie di esatte sperienze igrometriche sedentarie, anzichè per un Naturalista il quale brami uno strumento portatile sempre pronto ad essere usato ne' suoi viaggi alla guisa del termometro e del barometro, o per un dilettante il quale voglia in qualunque tempo e senza fatica conoscere il grado d'umidità dell'aria.

828. Oltre a quello dell'appannamento v'ha un altro pregevole metodo per misurare l'umidità dell'aria, che è quello del *Raffreddamento prodotto dall' evaporazione.*

Igrometro di Leslie. Sapevasi già da molto tempo che l'evaporazione produce un abbassamento di temperatura (§ 459); ma chi incominciò ad approfittarsene per misurare il vario grado d'umidità dell'aria fu il celebre Leslie. Questi oltre all'avere per mezzo di diverse modificazioni ridotto il suo termometro differenziale atto a servire di misuratore della luce, e di misuratore della trasparenza delle varie regioni dell'atmosfera (§ 575 e 581), il seppe eziandio ingegnosamente applicare alla misura del vapore acqueo contenuto nell'aria. In luogo d'annerire una delle bolle, la riveste egli a questo oggetto con alcuni doppii di tela fina o di carta sugante, e la bagna con acqua pura. Il freddo prodotto dall'evaporazione di quest'acqua fa immediatamente salire il liquido colorato dalla banda della bolla bagnata, e discendere dalla banda contraria; e la differenza d'altezza a cui si riducono le due colonne liquide, la quale è tanto maggiore quanto più l'aria è secca, serve a indicare la distanza a cui l'aria si trova dall'essere satura di vapore acqueo: nè occorre che il tempo di due minuti primi a fare che il freddo arrivi sensibilmente al suo massimo. Si può tenere lo strumento in azione permanente col far arrivare del continuo e lentamente dell'acqua alla bolla bagnata, mediante un fascettino di fili di seta che attingano questo liquido da un vicino recipiente per attrazione capillare (*).

Le cause che concorrono in questo strumento a modificare la temperatura della bolla bagnata sono tre, due tendenti a riscaldarla ed una a raffreddarla e sono: 1.° il calorico raggiante sì oscuro che luminoso, che vien vibrato dai corpi circostanti sulla superficie della bolla medesima; 2.° il calorico che l'aria passando accanto ad essa bolla comunica a questa per contatto; 3.° il passaggio del calorico allo stato latente in conseguenza della formazione del vapore. In sul principio, siccome è ancora piccola la differenza di temperatura fra la superficie

(*) *Bibl. Brit. Sciences et Arts*, t. LVI, p. 13.

della bolla summenzionata e i corpi circostanti, ed è perciò poca la quantità di calorico ricevuta pel contatto dell'aria e per l'irradiazione, essendo ancora pochissimo l'effetto della irradiazione oscura, e poco essendo generalmente quello della irradiazione luminosa, se già non si tratti dell'azione diretta de' raggi solari; così la formazione del vapore non solo dissipa il calorico che la superficie della bolla riceve per queste due vie, ma eziandio ne va togliendo di quello posseduto da cotal bolla: prevale adunque in questa la causa raffreddante, ed essa bolla gradatamente si raffredda. Ma il raffreddamento non può avanzarsi che sino ad un certo punto. Imperciocchè col raffreddarsi della bolla alla sua superficie e col crescere perciò la differenza di temperatura fra essa superficie e i corpi circostanti, vengono ad aumentarsi gli effetti sì dell'irradiazione che del contatto dell'aria; e all'incontro col raffreddarsi della superficie evaporante diminuisce l'evaporazione, e insieme a questa diminuisce altresì la dissipazione del calorico, venendo essa superficie evaporante per mezzo di un tale raffreddamento avvicinata continuamente al termine di saturazione, a quel termine cioè nel quale cesserebbe ogni evaporazione e ogni dissipazione di calorico da essa evaporazione cagionata, e al di sotto del quale vi sarebbe anzi deposizione. Si vede adunque chiaramente che prima di arrivare a questo termine vi ha necessariamente un punto nel quale la quantità di calorico che viene continuamente comunicata alla superficie evaporante dal contatto dell'aria e dall'irradiazione, compensa esattamente quello che si va dissipando per l'evaporazione. A questo punto tende continuamente ad avvicinarsi la temperatura della bolla, e quando n'è insensibile la distanza sono insensibili le sue mutazioni, ossia per quanto appare ai sensi essa temperatura è stazionaria.

Questo punto d'equilibrio però varia, posta la stessa temperatura dell'aria e de' corpi circostanti, col variare della secchezza dell'aria medesima. Se dopo ridotto stazionario lo strumento ad un determinato stato termometrico e igrometrico dell'aria, verrà questa a rendersi più secca, senza cangiarsi di temperatura, in tale caso le porzioni d'aria che passano vicino alla bolla diverranno capaci di maggiore quantità di vapore, e determineranno un maggiore abbas-

samento di temperatura; rendendosi in vece l'aria più umida, si faranno le porzioni d'aria medesime capaci di una minor quantità di vapore, talchè alla temperatura a cui lo strumento si era precedentemente ridotto stazionario diverranno prevalenti le cause di riscaldamento su quella che tende a dissipare calorico, e la temperatura si innalzerà sino ad un altro più elevato punto di equilibrio.

Lo strumento adunque dà segni di raffreddamento maggiori o minori, secondo che è più o men grande la secchezza dell'aria, e può perciò servire ottimamente a indicare il più e il meno dell'umidità atmosferica. Siccome però le sue indicazioni sono modificate dall'irradiazione del calorico sì luminoso che oscuro, così è chiaro che per poter dare costantemente le medesime indicazioni per un medesimo stato dell'aria, esso dee star riparato dalla luce ed essere tenuto in un luogo ove i corpi circostanti sieno alla stessa temperatura dell'aria ambiente. A tale oggetto può giovare a mio giudicio un cilindro di latta che il ricopra all'intorno, ma che ne lasci però vedere in qualche modo le indicazioni, e permetta inferiormente l'uscita all'aria raffreddata dalla formazione del vapore. Osserverò in fatti che è più grande nell'aria contigua alla bolla bagnata l'aumento di densità cagionato dal raffreddamento che accompagna l'evaporazione, che non sia la rarefazione prodotta nell'aria medesima dalla introduzione del vapore. Un grano di acqua che si diffonda per l'aria allo stato di vapore ne aumenta il volume d'una quantità uguale al volume di grani 1 3/5 d'aria, ed assorbe tanto calorico quanto ne verrebbe perduto da circa 650 grani d'acqua che si raffreddassero di 1° C., ossia da circa grani 2000 d'aria, che similmente si raffreddassero di 1° C.; i quali grani d'aria perdendo nel loro raffreddarsi 1/267 del loro volume a 0°, ossia presso a poco 1/267 del volume che hanno alla temperatura della sperienza, verrebbero fra tutti a perdere il volume di circa grani $\frac{2000}{267}$ d'aria, cioè di grani 7 1/2 circa; e se la stessa quantità di calorico venisse, p. e., tolta alla metà massa d'aria, o al terzo, questa massa si raffredderebbe di 2° C. o di 3° rispettivamente, o soffrirebbe la medesima diminuzione di volume, cioè una

diminuzione equivalente al volume di grani 7 1/2 d'aria. Se adunque il calorico necessario alla formazione del vapore venisse somministrato dalla sola aria, questa crescerebbe di massa in grazia del vapore introdotto, e diminuirebbe di volume d'una quantità equivalente al volume di grani 5,9 d'aria (cioè di grani 7 1/2 — 1 3/5), talchè la densità dell'aria che riceve questo vapore verrebbe sensibilmente ad aumentarsi. E ancorchè nel caso reale concorra altresì alla formazione del vapore il calorico prodotto dall'irradiazione de' corpi circostanti, l'aria si condenserà sempre, fosse anche tripla la quantità di calorico proveniente da questa irradiazione: in quest'ultimo caso in fatti per ogni quattro grani di vapore che si formassero, il volume scemerebbe di una quantità uguale al volume di grani d'aria (7 1/2 — 4 × 8/5), ossia di grani 1,1, oltre a che verrebbe aumentato il peso. Nè è presumibile che l'effetto dell'irradiazione possa essere cotanto prevalente a quello del contatto dell'aria, non essendo probabile che si abbiano ad adoperar bolle abbastanza grandi, e trovandosi lo strumento esposto ad aria non affatto tranquilla (Vedi i § 559 e 560). I citati numeri poi valgono per le temperature vicine a zero, e per le pressioni di circa 28 pollici di mercurio; l'aumento però della densità ha luogo anche per temperature e per pressioni notabilmente diverse. Dee adunque discendere l'aria raffreddata accanto alla bolla bagnata dello strumento, e fa d'uopo che il considerato vaso di latta le lasci inferiormente un'uscita (*).

829. Malgrado però i molti pregi di questo strumento e i buoni principii su cui è fondata la sua costruzione, non può esso uscire dalla classe degli igroscopii; può esso cioè indicare bensì prontamente e con una certa sicurezza il più e il meno dell'umidità dell'aria, ma non ne può dare la misura, quantunque Leslie ne avesse avuta la speranza.

(*) Questo condensamento dell'aria non è esattamente il caso inverso di quello della dilatazione che noi abbiamo considerata al § 790; allora non aveva luogo variazione di massa come qui succede per l'introduzione del nuovo vapore, e allora in oltre doveva essere ben lento l'effetto dell'irradiazione, attesa la grande estensione della massa aeriforme.

Esso è in fatti soggetto ad alcuni inconvenienti, i quali io mi permetterò di esporre qui sotto con qualche estensione; giacchè cercando di ripararvi si arriva ad un metodo semplicissimo per misurare l'umidità atmosferica e che io credo molto esatto.

1.° Le sue indicazioni sono soggette a variare dall'essere l'aria più o meno agitata. Ella è cosa ben nota che l'agitazione accelera l'evaporazione e insieme il raffreddamento che l'accompagna, e che insieme con questo acceleramento essa agitazione rende altresì più bassa l'ultima temperatura a cui il corpo evaporante può arrivare. Io feci a questo riguardo alcune sperienze che qui brevemente descriverò.

Presi due termometri gemelli, colle bolle cioè dello stesso diametro (di circa 8 millimetri) e simili più che potei nella forma, ne rivestii le bolle di una sottile stoffa, e tuffate queste bolle nell'acqua pura, lasciai uno di essi termometri tranquillo in direzione orizzontale col bulbo in mezzo all'aria libera di una camera, ed agitai l'altro colla mano facendogli descrivere delle veloci oscillazioni, ed osservai quali temperature essi indicassero allorchè furono ridotti stazionarii. Ecco alcuni de' risultamenti ottenuti.

	Temperatura dell'aria.	Temperatura ottenuta coll'evaporazione spontanea.	Temperatura ottenuta coll'evaporazione affrettata mediante l'agitazione.
1829 23 Giugno	21°,0 R	15,4	14,7
26 det.	20, 8	16,4	15,8
idem	20, 2	15,5	15,0
3 Luglio	19, 25	15,3	15,0

Cercai altresì di vedere l'influenza del diverso grado d'agitazione dell'aria. Ecco i risultamenti di due sperienze fatte il 23 giugno 1829.

Sperienza I.

Temperatura dell'aria . . . . . + 21°,0 R.
Temperatura d'un termometro coperto d'una stoffa bagnata, e lasciato evaporare spontaneamente fino a che si rendè stazionario 15,4
Temperatura a cui si ridusse il termometro medesimo tenuto in mano senza agitarlo, mentre ch'io passeggiava con una velocità di circa un metro per secondo 14,8
Temperatura a cui discese il medesimo strumento agitato colla mano, con una velocità presso a poco tripla della precedente 14,7

Sperienza II.

Temperatura ottenuta in un altro termometro per l'evaporazione spontanea 15,4
Temperatura ottenuta in questo secondo termometro col semplice passeggiare 14,9
Idem, colla veloce agitazione 14,75

Noi vediamo che in queste sperienze il freddo prodotto dall'evaporazione crebbe col crescere dell'agitazione; però produsse molto maggior differenza il passaggio da un'aria tranquilla ad un'aria che si moveva colla velocità di un metro per secondo (giacchè è indifferente che si muova piuttosto l'aria che il termometro), che non il passaggio da un'aria mossa con una tale velocità ad una che si moveva con quella di 3 metri al secondo.

2.° Le indicazioni dello strumento nell'aria tranquilla variano col variare delle dimensioni della bolla su cui si effettua l'evaporazione.

Io presi varii termometri a bolle di diverse forme e di diverse grandezze, rivestii la bolla di ciascuno tutto all'intorno con un sacchettino di tela, e bagnate tutte queste bolle con acqua pura li sospesi nell'aria tranquilla. Erano questi termometri i seguenti:

A termometro a mercurio colla bolla sferica del diametro di 8 millimetri;

B termometro a mercurio colla bolla cilindrica del diametro di 7 millimetri e della lunghezza di 44 millimetri;

C termometro a mercurio a bolla sferica del diametro di 16 millimetri;

D palla d'ottone del diametro di 80 millimetri, vota internamente, con un termometrino a mercurio introdotto colla bolla (che aveva il diametro di 8 millimetri) fino al centro della palla medesima: in questa palla ebbi l'avvertenza di ricoprire di carta sugante alcuni luoghi che rimanevano scoperti dalla tela.

Vi aveva anche un termometro ad alcool il quale serviva a far conoscere la temperatura dell'aria.

Osservati questi strumenti di tempo in tempo, ottenni i risultamenti che seguono. I gradi notati sono corretti dalle differenze della graduazione, essendo questi strumenti stati paragonati insieme, ed essendosi le loro indicazioni ridotte tutte alla graduazione del termometro *A*. Era il dì 3 marzo 1831.

	Temperatura della camera.	Termometrino *A*	Termometro cilindrico *B*	Termometro a bolla sferica del diametro di 16 mill. *C*	Palla d'ottone *D*
Ore pom. 3°.45′	10°,9 R.	7°,75	8°,0	8°,20	9°,2
55′	10, 9	7, 75	8, 0	8, 15	8, 9
4°. 5′	10, 75	7, 75	8, 0	8, 1	8, 6
15′	10, 7	7, 75	8, 0	8, 05	8, 6
25′	10, 67	7, 75	8, 0	8, 05	8, 6

Tenendoci alle ultime indicazioni, siccome a quelle che corrispondevano allo stato stazionario, e paragonando i risultamenti de' termometri *A, C, D,* cioè di quelli che avevano la bolla sferica, noi veggiamo che il più piccolo fu quello che si

raffreddò maggiormente, e che il più grande fu quello che si raffreddò meno. Oltre a ciò il più grande impiegò molto più tempo che il primo a rendersi stazionario, e n'avrebbe impiegato anche assai più che quello del diametro di 16 millimetri, se la palla d'ottone fosse stata piena di mercurio; però avrebbe presentato la medesima indicazione finale, stante che quando la bolla non somministra più del proprio calorico per la formazione del vapore, è indifferente la natura della materia contenuta sotto lo strato superficiale.

Osservai però (e di questa osservazione trarremo profitto fra poco) che questi diversi strumenti davano tutti la medesima indicazione nell'aria fortemente agitata. Infatti, subito dopo la sperienza precedente io presi un foglio di cartone della estensione di circa 5 decimetri quadrati, e lo agitai nell'aria vicino ad essi per imprimer moto a quest'aria, operando con quella maggiore velocità che mi era possibile di mantenere a lungo, facendogli cioè fare circa 70 oscillazioni ad ogni minuto primo, e in ciascuna di questa facendogli percorrere metri 2,5, corrispondenti a metri 170 per minuto primo. L'aria che per tale agitazione passava velocemente accanto ai termometri, non era punto più secca che nella sperienza precedente, anzi ella doveva piuttosto essersi inumidita alquanto in grazia della mia presenza (intendo di parlare per riguardo alla quantità assoluta di vapore contenuta in una data massa d'aria), e insieme doveva essersi scaldata alcun poco, le quali circostanze se l'aria fosse stata tranquilla dovevano entrambe contribuire non già a far abbassare le temperature de' termometri ma anzi a farle elevare. Ecco i risultamenti di quest'altra sperienza.

	Temperatura della camera.	Termometrino A	Termometro cilindrico B	Termometro a bolla sferica del diametro di 16 mill. C	Palla di ottone D
Ultimo risultamento nell'aria tranquilla	10°,67 R.	7°,75	8°,0	8°,05	8°,6
Dopo 4′ di agitazione	10, 85	7, 5	7, 5	7, 7	7, 9
Dopo altri 6′	10, 9	7, 48	7, 5	7, 5	7, 65
Dopo alcuni altri	11, 0	7, 48	7, 6	7, 6	7, 65
Bagnati di nuovo i termometri e quindi agitata l'aria per sei minuti					
Ore 4.55′	11,05	7,6	7,7	7,7	8,2
5. 0′	11,1	7,5	7,7		7,9
5. 5′		7,55	7,65	7,7	7,7
5.10′	11,1	7,6	7,7	7,7	7,8
Lasciati a se stessi, senza agitazione dell'aria, per dieci minuti					
	10,9	8,0	8,1	8,1	8,5

Manca un numero nella prima colonna, non essendo stata fatta la corrispondente osservazione, e ne manca un altro nella quarta avendo ommesso il risultamento 7°,9 segnato nelle mie note, poichè mi parve sbagliato.

Si scorge tanto dalla prima quanto dalla seconda serie che le temperature a cui i termometri discendono a cagione della evaporazione affrettata, dopo qualche tempo non differiscono l'una dall'altra se non che di pochissima cosa; sempre però è più basso il termometro della bolla minima, e sono gradatamente più alti gli altri. Inoltre quello che ha la bolla più grande, allo stesso modo che fa nell'aria tranquilla, impiega maggior tempo a ridursi

stazionario. Le piccole differenze poi che ancora rimangono sarebbero verisimilmente divenute ancor minori se l'agitazione fosse stata più grande. Possiamo adunque conchiudere che quando l'aria è tranquilla, il raffreddamento prodotto dall'evaporazione affrettata dipende moltissimo dalle dimensioni del corpo evaporante, essendo tanto maggiore quanto minori sono queste dimensioni, e che l'agitazione fa abbassare la temperatura sì de' piccoli corpi che dei grandi, facendo insieme avvicinare queste temperature fra loro e sensibilmente coincidere.

3.° Lo strumento di Leslie per ultimo non può indicar sempre le esatte differenze di temperatura fra le due bolle, corrispondendo indicazioni diverse per una stessa differenza di temperatura secondo che le temperature assolute delle due bolle medesime sono o più alte o più basse (§ 575). Questo difetto fa sì che conoscendosi mediante un esatto termometro la vera temperatura dell'ambiente, e perciò altresì la vera temperatura della bolla asciutta dello strumento, non si può dedurre agevolmente dalle sue indicazioni la vera temperatura della bolla bagnata.

Conchiuderemo da tutto questo che nell'igrometro di Leslie adoperato nel modo proposto da questo autore, cioè lasciato esposto alle naturali agitazioni dell'aria, ovvero tenuto nell'aria tranquilla, è in primo luogo difficil cosa il poter conoscere esattamente il vero grado di raffreddamento prodotto dall'evaporazione, e in secondo luogo, supposto anche conosciuto questo raffreddamento, è difficilissimo il poter determinare per mezzo di esso il preciso grado d'umidità dell'aria, avendo parte in cotale raffreddamento anche la grandezza della bolla che si raffredda, e il grado d'agitazione dell'aria medesima.

830. *Psicrometro.* Si applicarono a perfezionare il metodo di Leslie diversi valenti Fisici, fra i quali il sig. August di Berlino (*). Io mi fermerò alquanto ad esporre il metodo proposto da quest'ultimo, con quelle modificazioni che io stimo atte a renderlo più esatto, parendomi che esso possa riuscire molto vantaggioso.

(*) Gehler's *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, t. V, p. 627.

Propone adunque il sig. August di far uso di due delicati termometri, l'uno asciutto e l'altro rivestito d'una sottile stoffa inzuppata d'acqua, di tenerli vicini perchè sieno in mezzo alla medesima qualità d'aria, e di osservarne quindi le indicazioni; e dà a un tale apparecchio il nome di *Psicrometro*.

Ma con ciò non viene levato che un solo de' difetti dell'igrometro di Leslie, vale a dire quello della inesatta indicazione del grado di raffreddamento. Restano ancora gli altri due difetti, cioè quelli dell'essere le indicazioni dipendenti dalle dimensioni delle bolle e dal grado d'agitazione dell'aria. Ora questi si tolgono, a mio giudicio, quasi interamente entrambi mediante una forte agitazione o dell'aria o del termometro bagnato, e adoperando termometri a piccola bolla. Abbiamo in fatti già veduto che una forte agitazione fa cessare le differenze cagionate dalla varia grandezza delle bolle: ed io opino altresì per ciò che si è veduto al § 829 e per altre ragioni che dirò fra poco (al § 833), che quando l'agitazione è giunta ad un certo punto, non possa ella più col farsi maggiormente rapida aumentare sensibilmente il raffreddamento, e che perciò tutte le forti agitazioni diano presso a poco lo stesso risultamento; e mi sembra che a questo limite si possa arrivare assai presso facendo uso di piccoli termometri. Io credo adunque utile che il termometro bagnato sia piccolo, p. e. col diametro della bolla non maggiore di sei o sette millimetri, il che serve anche alla prontezza dell'operazione. È poi vantaggioso che sia piccolo anche il termometro asciutto, perchè così esso prende più presto e più esattamente la temperatura dell'aria; e per la suddetta prontezza può giovare altresì che entrambi sieno a mercurio. Le divisioni però debbono essere di tale estensione che vi si possano facilmente distinguere i decimi di grado.

L'agitazione si può ottenere in molte maniere, cioè: 1.° col far girare separatamente a cerchio i due termometri mediante un'apposita macchinetta, come operava Saussure nelle sperienze ch'egli fece appunto sul freddo prodotto dall'evaporazione (*); 2.° col prendere ambedue gli stru-

(*) *Voyages dans les Alpes*, § 2064; vedi anche nel presente volume al § 657.

menti in una medesima mano, e tenendo le bolle a qualche piccola distanza l'una dall'altra, farli oscillare prestamente nell'aria; 3.° col sospenderli in vicinanza l'uno dell'altro, e quindi agitare l'aria contigua con un foglio di cartone; 4.° col porre i due bulbi entro ad un tubo da cui si aspiri l'aria: questa appena entrata dee incontrare il bulbo asciutto e comunicargli la propria temperatura, quindi passando innanzi dee incontrare quello bagnato e farlo raffreddare mediante l'evaporazione; il tubo non dev'essere troppo largo, cioè appena quanto basta perchè non tocchi i due bulbi; quella sua estremità ove si trovano i due termometri deve essere tenuta lontana dalla persona, o almeno riparata dalla irradiazione di questa, affinchè non possa venirne sensibilmente riscaldata; gioverà poi assai se la suddetta parte di tubo che sta intorno al termometro bagnato sarà anch'essa rivestita internamente di una fina tela inzuppata d'acqua, venendo con tale pratica a togliersi quasi interamente dal termometro bagnato l'effetto della esteriore irradiazione.

831. Ma ottenuti per mezzo del *Psicrometro* tanto il raffreddamento prodotto dall'evaporazione affrettata quanto la temperatura dell'aria, sarà egli possibile il dedurre da questi dati il vero grado d'umidità dell'aria medesima? E in qual modo si potrà ricavarlo?

Quando sia vero ciò che abbiam detto poco sopra, vale a dire che nelle forti agitazioni dell'aria, il raffreddamento cagionato dall'evaporazione sia sensibilmente indipendente sì dalla grandezza della superficie evaporante che dal diverso grado d'agitazione, in tale caso noi possiamo essere certi che dalle indicazioni di cotale *Psicrometro* combinate con quelle del barometro si possono ricavare con esattezza i varii gradi dell'umidità atmosferica. Supponiamo in fatti che essendo il barometro a 76 centimetri, e la temperatura dell'aria a + 10° C., la evaporazione affrettata faccia discendere questa temperatura di 1° C.; sarà questo l'indizio del trovarsi contenuta nell'aria una certa dose di vapore acqueo, la quale noi non possiamo assicurare che possa con facilità essere trovata esattamente, ma che però sarà unica e determinata, e che alla indicata pressione e alla indicata temperatura dell'aria non potrà variare se non facendo variare

altresì il grado del raffreddamento. Se rimanendo l'aria sotto la stessa pressione di 76 centimetri, e alla stessa temperatura di + 10° C., il raffreddamento cagionato dall'evaporazione sarà di 2° C., si avrà in quest'altro raffreddamento l'indizio di un'altra quantità di vapore maggiore della precedente, ma similmente unica e determinata. E lo stesso dicasi degli altri diversi raffreddamenti che possono aversi corrispondentemente alla medesima pressione di 76 centimetri e alla medesima temperatura di + 10° C. È adunque possibile, benchè forse con fatica, di costruire una tavola valevole per una tale pressione e per una tale temperatura dell'aria, nella quale pei diversi raffreddamenti operati dall'evaporazione vengano date le quantità assolute di vapore invisibile che si contengono, p. e., in un metro cubico d'aria, o nella quale, se più piaccia, vengano date le corrispondenti tensioni di esso vapore.

Estendendo questa conclusione, è facile il vedere che si potrà avere un'altra simile tavola corrispondentemente alla medesima pressione di 76 centimetri, ma alla temperatura di + 11° C.; una terza tavola corrispondente alla stessa pressione, e alla temperatura di + 12°, ec.; di maniera che si potrà avere, unendo queste tavole particolari, una tavola a doppia entrata, valevole per la pressione di 76 centimetri, dalla quale, essendo dati la temperatura dell'aria e il raffreddamento prodotto dall'evaporazione, si potranno ricavare immediatamente i gradi dell'umidità. E altre simili tavole si potranno formare per tutte le altre pressioni.

Ma come si potranno costruire siffatte tavole? Noi passeremo ad esporne un metodo, il quale a dire il vero non è ancora abbastanza perfezionato, ma che nulladimeno per le pressioni atmosferiche vicine a quella di 76 centimetri di mercurio può già essere usato con qualche sicurezza. Premetteremo però alcune cose riguardo all'influenza dell'agitazione dell'aria sul freddo che nasce dall'evaporazione dell'acqua in aggiunta a quanto abbiamo già detto intorno a questo particolare.

832. Abbiamo veduto poc'anzi (§ 829) che l'evaporazione produce un freddo tanto maggiore quanto più ella è affrettata dall'agitazione dell'aria. Ora di questo fatto

noi possiam dare la seguente spiegazione. Se una bolla termometrica rivestita di una stoffa bagnata viene lasciata evaporare nell'aria o con agitazione o senza, dopo ch'ella si trova ridotta ad una temperatura stazionaria, ella va emettendo dalla sua superficie il vapore acqueo con tale abbondanza da rendere latente nè più nè meno quella stessa quantità di calorico che viene comunicata alla sua superficie tanto per contatto dall'aria contigua che è allora più calda di essa bolla, quanto per irradiazione dai corpi circostanti che si suppongono alla medesima temperatura dell'aria (§ 828). E quando la pressione atmosferica, lo stato termometrico e igrometrico dell'aria, la temperatura de' corpi vicini, le dimensioni della bolla e la velocità del moto dell'aria relativamente alla bolla stessa sieno determinati, anche il grado del raffreddamento e la quantità del vapore emesso durante un dato tempo sono affatto determinati; di maniera che se venissero aumentati o diminuiti da quel che sono, essi ritornerebbero gradatamente alla medesima grandezza. Perciocchè se, a cagion d'esempio, la temperatura della bolla venisse elevata, verrebbe con ciò ad aumentarsi la quantità del vapore emesso, e scemerebbe quella del calorico comunicato, e si romperebbe l'equilibrio fra l'acquisto e la perdita del calorico, e la bolla si dovrebbe nuovamente raffreddare. E il contrario sarebbe nel caso che la bolla venisse a raffreddarsi. Ciò posto, se dopo fatta una prova a un determinato stato dell'aria e con un dato moto relativo della medesima, e dopo ottenuta in questa prova la temperatura stazionaria, noi facciamo che questo moto relativo divenga ad un tratto più veloce, senza che varino per nulla tutte le altre circostanze influenti, diverranno con ciò più abbondanti sì la quantità di calorico comunicata dall'aria alla bolla per contatto, come altresì la quantità del vapore acqueo emesso dalla superficie della bolla stessa e via trasportato dall'aria; e probabilmente, finchè la bolla non si sarà sensibilmente cangiata di temperatura, queste due quantità cresceranno in una medesima proporzione, talchè con un tale accrescimento potrà l'aria in un minor tempo di prima cedere la medesima quantità di calorico, e ricevere la medesima quantità di vapore. Ma non è così dell'irradiazione, la quale per l'agitazione dell'aria

non può aumentare d'efficacia, e perciò nel considerato minor tempo non può comunicare la stessa quantità di calorico di prima, ma una quantità minore. Per conseguenza se nell'aria poco agitata la quantità del calorico dissipato dall'evaporazione era uguale alla somma delle quantità somministrate dall'irradiazione e dal contatto dell'aria, questa uguaglianza non si avrà più appena che il moto dell'aria accanto alle bolle si sarà fatto più veloce; ma la quantità dissipata dall'evaporazione supererà quella somministrata dall'irradiazione e dall'aria; la temperatura perciò della bolla si dovrà abbassare fino a che si abbia un altro più basso punto di equilibrio fra le suddette quantità dissipata e comunicata.

733. Sembra però da quanto si è veduto al citato § 829, che a un determinato stato dell'aria questo raffreddamento prodotto dall'evaporazione non possa mai superare un certo limite, per quanto si acceleri il movimento relativo dell'aria stessa accanto alla bolla. E ciò è anche una necessaria conseguenza dei principii da noi posti precedentemente. Quando in fatti il movimento suddetto fosse velocissimo, dopo ottenuto lo stato stazionario della bolla termometrica, la quantità di calorico che verrebbe impiegata a ridurre in vapore una data quantità di liquido sarebbe quasi tutta somministrata dal contatto dell'aria, e soltanto in pochissima parte dall'irradiazione; e la temperatura stazionaria sarebbe tale che pochissimo si dovrebbe abbassare ancora nel caso che venisse a mancare interamente l'effetto dell'irradiazione suddetta. Quantunque infatti per questa cessazione dovesse realmente la temperatura abbassarsi alcun poco, perchè si sarebbe reso leggiermente minore l'acquisto del calorico di quello che fosse la perdita; pure siccome un tale raffreddamento sarebbe accompagnato da una proporzionata diminuzione nell'evaporazione, e da un proporzionato aumento nell'effetto riscaldante del contatto dell'aria, così esso raffreddamento anche essendo piccolo potrebbe essere sufficiente a ricomporre l'equilibrio fra la perdita del calorico e l'acquisto; non sarebbe cioè nemmen d'uopo che la temperatura s'abbassasse di tanto che l'accresciuto effetto del contatto dell'aria supplisse da sè solo alla cessata

debole irradiazione, ma il diminuir dell'evaporazione farebbe che fosse necessario un minore assorbimento di calorico. Questa temperatura poi che si avrebbe nel supposto che cessasse affatto l'irradiazione, sarebbe il limite al quale la temperatura della bolla s'andrebbe accostando coll'aumentare dell'agitazione dell'aria, ma a cui sarebbe impossibile di poter giungere esattamente giammai per qualunque velocissimo movimento.

Siccome poi allorquando le bolle termometriche bagnate sono di piccolo diametro, noi non veggiamo che s'aumenti gran fatto il loro raffreddamento dal semplice passeggiare mentre se ne tengono in mano i corrispondenti tubi, allo agitarle velocemente nell'aria, così noi siamo portati a credere che anche con la piccola velocità del passeggiare l'effetto dell'irradiazione sia già ridotto a poca cosa, talchè di poco esso possa ancora diminuire coll'aumentare notabilmente l'agitazione, ossia col recare questo effetto alla metà o al terzo del proprio valore; e perciò siamo indotti a pensare che il raffreddamento ottenuto colla veloce agitazione sia molto vicino al limite a cui si giungerebbe col togliere interamente l'effetto suddetto della irradiazione.

A ciò credere ci inducono anche altre ragioni. Noi abbiamo veduto al § 560 che trovandosi un termometrino colla bolla sferica del diametro di 7 millimetri esposto asciutto e alquanto riscaldato all'aria libera, l'azione del contatto dell'aria per raffreddarlo è quasi tripla di quella dell'irradiazione verso i corpi circostanti, ossia che quella dell'irradiazione non supera guari il quarto della somma delle due cause raffreddanti. E, secondo che abbiamo già asserito in altro luogo (§ 562), venendo agitato velocemente colla mano un siffatto termometrino, supposto ancora asciutto e alquanto riscaldato, il raffreddamento può divenire anche quattro volte più pronto di quello ch'esso è nell'aria tranquilla. Da ciò possiamo conchiudere che in un tale termometrino agitato e riscaldato, la perdita del calorico per l'irradiazione verso i corpi circostanti può essere appena $1/16$ della totale perdita cagionata dalle due cause raffreddanti prese insieme; e che perciò anche quando un tale termometrino viene agitato nell'aria bagnato, dopo che la sua temperatura è ri-

dotta ad un punto stazionario al di sotto di quella dell'ambiente, la quantità del calorico comunicato alla bolla per irradiazione non è forse che il sedicesimo della totale quantità di calorico che essa bolla va ricevendo, e che continuamente vien resa latente nella formazione del vapore; di maniera che per un tale termometrino la quantità di calorico comunicata dal contatto dell'aria, quella comunicata dall'irradiazione e quella dissipata dall'evaporazione sono prossimamente come i numeri 15; 1; 16, rispettivamente. Se adunque venisse del tutto soppressa l'irradiazione de' corpi circonvicini, la temperatura della bolla bagnata non discenderebbe forse che di $^1/_{30}$ di quello che ella fosse già discesa per l'evaporazione affrettata. In fatti con questo raffreddamento di $^1/_{30}$, la quantità di calorico comunicata dal contatto dell'aria si aumenterebbe forse appunto di un trentesimo di quello ch'ella era dapprima, supplendo così in parte al cessato effetto dell'irradiazione. E insieme un tale abbassamento di temperatura farebbe diminuire l'evaporazione e la quantità del calorico dissipato per sua cagione, forse per una porzione uguale al già menzionato trentesimo. Talchè se col sopprimersi dell'irradiazione la quantità del calorico acquistato si trovasse in sul principio minore di quella dissipata dall'evaporazione nella ragione di 15 a 16, verrebbe questa differenza a togliersi col suddetto ulteriore raffreddamento di un trentesimo, stantechè l'acquisto del calorico fatto pel contatto dell'aria si accrescerebbe con ciò fino alla grandezza $15\ ^1/_2$, e la quantità dissipata per l'evaporazione diminuirebbe similmente fino a $15\ ^1/_2$. Non è poi che per una arbitraria supposizione che noi abbiamo riguardati come uguali l'aumento dell'effetto riscaldante del contatto dell'aria, e la diminuzione dell'effetto raffreddante dell'evaporazione; ma essi possono essere diversi, anzi è probabile che il sieno; può darsi, p. e., che il primo di questi cresca come 15 a $15\ ^2/_5$, e chè il secondo scemi come 16 a $15\ ^2/_5$.

Ciò posto, se in qualche sperienza che da noi si faccia la temperatura dell'aria è a $+21°$ R., e se noi troviamo che un termometro bagnato del diametro di 8 millimetri (diverso a tutto rigore da quello contemplato precedentemente, ma che io assumo tale onde attenermi a una sperienza ef-

fettivamente eseguita) per l'evaporazione nell'aria tranquilla discende sino alla temperatura di +15°,4 R. (§ 829), e che coll'agitazione prodotta dal semplice passeggiare esso discende fino a +14°,8, e che infine coll'agitazione fatta più celere mediante il movimento della mano discende sino a +14°,7; io opino che sopprimendo del tutto l'effetto dell'irradiazione il termometro medesimo discenderebbe soltanto sino a +14°,5, ovvero al più sino a +14°,4, vale a dire che la temperatura si abbasserebbe solamente di altri due o al più di altri tre decimi di un grado di Réaumur, ossia d'un trentesimo o al più di un ventesimo del raffreddamento già ottenuto che è di gradi 6°,3. E potrebbe questo limite del raffreddamento essere anche men basso di quello che noi qui calcoliamo, attese le incertezze delle supposizioni numeriche che noi abbiamo fatte riguardo agli effetti dell'irradiazione e del contatto dell'aria.

734. Ad avvalorare vieppiù questa conclusione ho fatto ultimamente la seguente sperienza. Ho preso un termometrino colla bolla sferica del diametro di 8 millimetri, ho rivestita questa bolla di una stoffa annerita, e dopo averla inzuppata d'acqua, l'ho agitata velocemente nell'aria, ora tenendola esposta al Sole, ed ora all'ombra, in una medesima camera alla piccola distanza di circa due soli decimetri dall'una posizione all'altra, affinchè in ambedue le specie di prove l'aria avesse prossimamente la medesima temperatura. Ed ebbi i risultamenti che seguono.

Era il dì 16 luglio 1831, alle 9 1/4 antimeridiane, risplendeva vivamente il Sole, e la temperatura indicata, nella camera dove si faceva l'esperienza, dal medesimo termometrino finchè era asciutto, era di +20°,2 R. (giacchè lo strumento era a gradi della scala divisa in 80), ossia di +25°,25 C.

La media di cinque prove fatte agitando all'ombra il termom. bagnato, fu +16°,11 R. +20°,14 C.

E la media di cinque prove fatte al Sole, alternativamente colle precedenti, avendo avuta l'avvertenza di bagnare di nuovo la bolla avanti ogni prova, fu +16°,53 R. +20°,66 C.

Differenza . . 0°,42 R. pari a 0°,525 C.

E di questa differenza una qualche parte, forse di 0°,1 R., dee attribuirsi all' essere alquanto più calda l' aria intorno al termometro quando questo era esposto al Sole che quando esso era all' ombra, stantechè nell' un caso il suolo direttamente sottoposto alla bolla era anch' esso illuminato dal Sole, e nell' altro caso esso era all' ombra.

Ora io ho calcolato che la quantità di calorico che la bolla riceveva dai raggi solari, si sarebbe potuta riguardare come eguale, presso a poco, a quella che essa avrebbe ricevuto per irradiazione da un inviluppo più caldo di essa lei per 30 gradi centigradi. In fatti dalla sperienza esposta alla p. 193 di questo volume noi veggiamo che nelle circostanze di quella sperienza una bolla del diametro di 16 millimetri riceveva in un minuto primo tanto calorico dai raggi del Sole quanto avrebbe bastato a riscaldarla di 2°,5 C. Dal che si può dedurre che una bolla annerita ripiena di mercurio che avesse avuto il diametro di 6 centimetri avrebbe ricevuto da raggi di quella forza e in quella stessa durata di tempo una tale quantità di calorico da potersi riscaldare di gradi centigradi $\frac{2,5.16}{60}$, ossia 0,667; giacchè siccome il fascio de' raggi ricevuti sarebbe stato più grande in questo secondo caso che nel primo nella ragione di $\overline{60}^2$ a $\overline{16}^2$, e la massa da riscaldarsi sarebbe stata maggiore nella ragione di $\overline{60}^3$ a $\overline{16}^3$, così il riscaldamento sarebbe stato minore nella ragione di 16 a 60, cioè nella ragione reciproca semplice de' diametri. E se la bolla del diametro di 6 centimetri, in luogo di essere annerita, avesse avuto la superficie di vetro nudo, ella avrebbe ricevuto meno calorico in ragione di 9 a 10, e perciò in una tale quantità da venire riscaldata solamente di 0°,6 C. in un minuto primo. Ora dalla tavola del § 531 (vedi alla p. 126 di questo volume), scambiando la temperatura dell' inviluppo con quella della bolla, o più rigorosamente dall' ultima formola della p. 129, si ha che quest' ultima quantità di calorico è quella che può essere ricevuta in un minuto primo da una bolla di vetro nudo del diametro appunto di 6 centimetri e dotata della temperatura di +20° C., per l'irradiazione di un inviluppo

dotato di una totale facoltà emittente il quale la circondi tutto all'intorno e ne sia più caldo per 29°,4C. Risolvendo in fatti l'equazione

$$2{,}037\left\{1{,}0077^{20+t}-1{,}0077^{20}\right\}=0{,}60$$

per riguardo a t, si ottiene appunto $t=29{,}4$. Raccogliendo adunque quanto si è detto, noi possiamo conchiudere che una bolla di vetro nudo ripiena di mercurio col diametro di 6 centimetri e calda a +20°C., in forza della irradiazione oscura di un inviluppo più caldo di essa per 29°,4C., nella durata di un minuto primo si scalderebbe di 0°,6C.; che essa bolla, se fosse annerita, nella medesima durata di tempo si scalderebbe di 0°,667C.; e che, se oltre all'essere annerita ella avesse il diametro di soli 16 millimetri, verrebbe per quella irradiazione e in quella stessa durata di tempo a riscaldarsi di 2°,5C., di tanto cioè come ella fece effettivamente per l'azione de' raggi solari. Nelle circostanze adunque della citata esperienza, la luce solare e una irradiazione oscura corrispondente a una differenza di temperatura di 29°,4C., avrebbero prodotto su quest'ultima bolla termometrica del diametro di 16 millimetri un medesimo effetto. E sarebbero altresì queste due cause di riscaldamento state fra loro equivalenti per qualsivoglia altra bolla o più grande o più piccola purchè colla superficie della medesima natura, giacchè la quantità del calorico comunicato sarebbe cresciuta o diminuita, sì per l'una di esse cause che per l'altra, in ragione diretta de' quadrati de' diametri.

Si arriva quasi alla stessa conclusione considerando uno de' risultamenti esposti al § 578 a p. 200., cioè riflettendo che un termometro con bolla annerita del diametro di 8 millimetri, esposto al Sole nell'aria tranquilla ascese fino a +29°,6R., mentre la temperatura dell'aria era di +12°R. Siccome in una bolla di vetro nudo del diametro di 8 millimetri noi possiamo calcolare che l'azione del contatto dell'aria per togliere o per comunicare calorico stia all'azione della irradiazione come 2 ⅔ a 1 (se il diametro è di 7 millimetri le due azioni sono nella ragione di 2,94 a 1,03, ossia in quella di 2,85 a 1, come si vede al § 560); e siccome perciò in una bolla annerita di un tale diametro

l'effetto del contatto dell'aria è a quello dell'irradiazione presso a poco come 2 2/25 : 100, ossia come 2, 45 : 1, così perchè un termometro di quest'ultima qualità di bolla avesse potuto mantenersi a 8°,6 R. al di sopra della temperatura dell'aria circostante, avrebbe dovuto esser cinto da un inviluppo, il quale (non alterando la temperatura dell'aria intorno alla bolla) avesse avuto una temperatura superiore a quella della bolla stessa per gradi di Réaumur 2,45 × 8,6, ossia per gradi centigradi 3 × 8,6, vale a dire 25°,8. La differenza poi del numero ottenuto precedentemente che era 29°,4, dipende e dalla diversità delle circostanze atmosferiche, ed altresì dalla poca esattezza di questi rozzi e semplicemente approssimati calcoli.

Noi possiamo adunque ritenere che l'effetto della luce solare sulla bolla annerita e bagnata nella sperienza del 16 luglio 1831 citata poco sopra, fosse equivalente alla irradiazione oscura d'un inviluppo da 25 a 30 gradi centigradi più caldo della bolla. Ora siccome questa bolla quando veniva raffreddata coll'agitazione all'ombra non si portava che di 5°,11 C. al di sotto della temperatura de' corpi circostanti, di maniera che l'effetto riscaldante dell'irradiazione oscura era per essa appena il quinto dell'effetto de' raggi solari, e siccome l'intero effetto di questi raggi solari non arrivava a riscaldare la bolla bagnata ed agitata più di 0°,525 C.; così per un calcolo approssimato noi possiamo conchiudere che in una tale sperienza l'effetto dell'irradiazione oscura non teneva che di 0°,1 C. più calda la bolla di quello che questa sarebbe stata mancando affatto l'irradiazione. E nella sperienza del 23 giugno 1829 citata al §. 829, nella quale il raffreddamento per l'evaporazione accelerata all'ombra fu da +21°,0 R. a +14°,7 R., cioè di 6°,3 R., ossia di 7°,9 C., l'effetto dell'irradiazione oscura de' corpi circostanti può essere valutato non maggiore di 1/15 0,525 C., ossia di 0°,175 C., ossia di 0,14 R., cioè di 1/45 del raffreddamento ottenuto coll'agitazione; talchè il limite del raffreddamento sarebbe stato 14°,56 R.

Da quanto abbiamo precedentemente esposto noi possiamo trarre come una conseguenza molto probabile, che nel raffreddamento ottenuto coll'evaporazione, in una bolla bagnata e agitata non ha sensibile influenza nè la velo-

cità maggiore o minore dell'agitazione, purchè sempre questa sia grande, nè la temperatura de' corpi vicini, nè la luce solare che vi venga riverberata da altri corpi, purchè questa non sia vivissima, e nemmeno, per ciò che appare dalle sperienze del § 829, la grandezza e la figura della bolla; e che soltanto vi hanno parte 1.° la temperatura dell'aria, 2.° la densità della medesima, ovvero, ciò che è più comodo a misurarsi, la pressione a cui ella è sottoposta, 3.° la tensione del vapore che in essa già si contiene.

Ma in qual modo dal raffreddamento sofferto da una bolla bagnata ed agitata potremo dedurre la tensione del vapore esistente nell'aria? E qual grado di confidenza potremo avere in questo modo di misurare l'umidità dell'aria medesima?

735. Noi ammetteremo a questo oggetto le seguenti ipotesi:

1.ª *Che lo strato d'aria immediatamente contiguo alla bolla bagnata mentre questa viene agitata, si trovi esattamente alla temperatura della bolla stessa, e a questa temperatura sia compiutamente saturo di vapore acqueo.* Questa ipotesi è a parer mio affatto ammissibile; giacchè essendo estremamente sottile lo strato d'aria che consideriamo, per poco che rimanga a contatto della bolla bagnata, esso può e mettersi all'equilibrio di temperatura colla medesima e saturarsi di umidità.

2ª. Si supponga che dopo ridotta stazionaria la temperatura del termometro, si misuri la quantità di calorico somministrata entro un dato tempo alla bolla dall'aria contigua, e che si determini quale massa di quest'aria avrebbe dovuto raffreddarsi dalla primitiva sua temperatura fino a quella del termometro ridotto stazionario onde perdere siffatta quantità di calorico; e che d'altra parte si calcoli quale massa dell'aria circostante medesima ridotta alla temperatura del termometro avrebbe potuto rendersi pienamente satura d'umidità per lo aggiungersi al vapore che ella già conteneva quello novellamente formatosi dentro la medesima durata di tempo. La seconda ipotesi consiste nello ammettere che *queste due masse d'aria sieno perfettamente uguali fra loro.*

A dire il vero, non è ben chiara la legittimità di questa seconda ipotesi. Ella varrebbe nel caso che quello strato di molecole aeree che passa più davvicino di tutti gli altri alla bolla bagnata, fosse esso solo quello che cede calorico e che riceve vapore; giacchè in tal caso questo strato, per la prima ipotesi, verrebbe ad un tempo e reso saturo di vapore e recato alla temperatura della bolla. Varrebbe anche nel caso che il raffreddamento venisse partecipato altresì alcun poco agli strati successivi delle suddette molecole aeree, formandosi in questi strati, a proporzione che si prendono più lontani dalla bolla, una serie di temperature gradatamente crescenti; purchè avesse luogo eziandio una trasmissione del vapore dall'uno strato all'altro, e questa colla medesima legge colla quale viene perduto il calorico; talchè quelle molecole aeree che ricevessero come due di vapore cedessero come due di calorico, quelle che prendessero uno di vapore dessero uno di calorico, ec. In fatti secondo questo supposto, una porzione d'aria raffreddata ed inumidita per trasmissione si potrebbe riguardare come formata di due parti, l'una alla temperatura della bolla e al massimo d'umidità, l'altra allo stato naturale dell'altra aria. Ma queste supposizioni non sono per niente certe, e potrebbe facilmente avvenire, per quanto noi sappiamo, che la comunicazione del calorico repente fosse negli strati aerei più facile che non il passaggio del vapore, talchè il secondo e i successivi strati di molecole aeree sovrapposti alla bolla fossero da essa più raffreddati che non inumiditi.

Questa ipotesi però s'accorda con uno de' risultamenti che abbiamo dedotti dalle esperienze del § 829; vale a dire con questo, che quando una bolla bagnata viene fortemente agitata, la temperatura a cui ella si riduce è quasi affatto indipendente dalla sua grandezza e dalla sua forma. Immaginando in fatti che più bolle bagnate di diverse forme e grandezze vengano fortemente agitate nell'aria in uno stesso luogo e nelle stesse circostanze atmosferiche, sì fortemente che possa trascurarsi l'effetto prodotto su di esse dall'irradiazione de' corpi circostanti, noi possiamo dedurre dalla nostra ipotesi che, dopo ridotte tutte queste bolle a temperature stazionarie, un grammo d'aria il quale si raf-

freddi sino alla temperatura stazionaria di una qualsivoglia di esse può somministrare precisamente tanto calorico, che il vapore che ne può venire prodotto basti a ridurre saturo (computata l'umidità preesistente) il grammo d'aria medesimo raffreddato sino a quella temperatura. Ciò posto, se in due di queste bolle la temperatura stazionaria fosse diversa, per quella di esse ove una tale temperatura fosse più elevata si avrebbe nel grammo d'aria minore perdita di calorico e maggiore quantità di vapore ricevuto (stantechè questo grammo d'aria verrebbe ridotto saturo di vapore ad una più alta temperatura), e altresì, per conseguenza, una maggiore quantità di calorico impiegata nella formazione del vapore; e all'incontro per la bolla che venisse maggiormente raffreddata si avrebbe nel grammo d'aria una più grande perdita di calorico, e una minore quantità di vapore ricevuta; il che sarebbe assurdo. È forza adunque nella indicata ipotesi, che le temperature stazionarie di tutte le bolle siano uguali.

Ma quello che è più, i risultamenti ai quali questa ipotesi conduce, sono o veri o almeno vicinissimi al vero, come passiamo a vedere.

Ammesse queste due ipotesi, chiamiamo

d la densità del vapore acqueo rispetto all'aria secca, a pari tensione e temperatura; la quale densità, quando si tratterà di sostituire i numeri, noi porremo uguale a 0,622;

P la pressione atmosferica, espressa in millimetri di mercurio a 0° C.;

e la tensione del vapore acqueo già contenuto nell'aria che sta intorno alla bolla, espressa come sopra;

C la capacità pel calorico di quest'aria, considerata con quella umidità che già contiene, e supposta sottomessa alla indicata pressione, presa per unità la capacità dell'acqua ad ugual massa;

c la capacità pel calorico dell'aria secca, sotto la medesima pressione P;

c' la capacità pel calorico del vapore acqueo contenuto in una massa d'aria sotto la pressione P; vale a dire il valore che è d'uopo attribuire a una tale capacità, affinchè moltiplicata questa per una massa di esso vapore, e moltiplicata altresì una massa d'aria secca per la sua capacità

corrispondente alla pressione P, sia la somma de' due prodotti uguale al prodotto della capacità specifica del miglio delle due masse sotto la pressione P, moltiplicata per la massa del medesimo;

T la temperatura che ha l'aria di cui si vuol misurare l'umidità, avanti che il termometro bagnato l'abbia raffreddata, supposta espressa questa temperatura in gradi del termometro centigrado;

T' la temperatura del termometro suddetto raffreddato dall'evaporazione affrettata per mezzo dell'agitazione e ridotto stazionario;

E' la tensione che ha il vapore acqueo alla temperatura T' e alla densità della saturazione, espressa in millimetri di mercurio;

I la quantità di calorico che viene comunicata alla bolla raffreddata e resa stazionaria, dall'irradiazione de' corpi circostanti durante un minuto primo, supposta espressa questa quantità di calorico in grammi di acqua scaldati di 1° C.;

M quella massa d'aria, di quell'aria di cui si vuol misurare l'umidità, la quale raffreddandosi dalla temperatura T alla T' può somministrare tutta la quantità di calorico che in un minuto primo viene comunicata dal contatto dell'aria alla bolla raffreddata e stazionaria per servire alla formazione del vapore, supposta espressa questa massa d'aria in grammi, la quale massa d'aria, per la seconda ipotesi, è altresì quella stessa che può essere ridotta satura, alla temperatura T', dal vapore formatosi nella medesima lurata di tempo;

V questa quantità di vapore formatosi in un minuto primo, espressa similmente in grammi;

K la quantità di calorico che si rende latente nella formazione di un grammo di vapore entro ad aria supposta alla pressione P, e dotata della temperatura T', supposta anche questa quantità di calorico espressa in grammi d'acqua scaldati di 1° C.

Poste queste denominazioni, noi cominciamo ad avere per la soluzione del nostro problema l'equazione

$$(A) \qquad MC(T-T') + I = VK,$$

la quale esprime che la quantità di calorico resa latente dal vapore novellamente formato nella durata di un minuto primo equivale a quella somministrata in pari tempo dal contatto dell'aria e dall'irradiazione.

In secondo luogo noi potremo avere la misura della quantità V del vapore formato mediante le considerazioni seguenti.

Nella massa M d'aria, formata di una quantità di vapore acqueo per la tensione e, e di una quantità d'aria secca per la tensione $(P-e)$, il vapore e l'aria secca contenuti sono fra loro nella ragione di

$$ed : P-e,$$

e perciò le loro masse sono rispettivamente

$$\frac{Med}{P-e+ed}, \quad \frac{M(P-e)}{P-e+ed}.$$

Dopo che questa massa d'aria si è raffreddata dalla temperatura T alla T', e che è divenuta satura di vapore, la quantità del vapore che vi si trova contenuto e la quantità dell'aria secca stanno fra loro nella proporzione di

$$E'd : P-E';$$

e siccome la porzione dell'aria secca è ancora misurata da

$$\frac{M(P-e)}{P-e+ed},$$

così il vapore che vi si trova insieme è in una quantità x data dalla proporzione

$$P-E' : E'd :: \frac{M(P-e)}{P-e+ed} : x,$$

da cui si ha

$$x = \frac{M(P-e)E'd}{(P-E')(P-e+ed)};$$

e la quantità V di vapore nuovamente formato è data da

$$V = \frac{ME'd\,(P-e)}{(P-E')\,(P-e+ed)} + \frac{Med}{P-e+ed},$$

ossia da

$$(B) \qquad V = \frac{MPd\,(E'-e)}{(P-E')\,(P-e+ed)}.$$

Il qual valore di V noi serberemo per sostituire nell'equazione (A).

Il valore di C lo avremo dal considerare che, secondo che si disse al § 732, la capacità *totale* di un miscuglio aeriforme si ha dalla somma delle capacità *totali* de' due componenti. Sarà perciò

$$C.\,M = c.\frac{M\,(P-e)}{P-e+ed} + c'.\frac{Med}{P-e+ed},$$

da cui

$$(D) \qquad C = \frac{c\,(P-e)+c'ed}{P-e+ed}.$$

Sostituendo nella equazione (A) questo valore di C e il precedente valore di V, avremo

$$M.\left\{\frac{c\,(P-e)+c'ed}{P-e+ed}\right\}(T-T') + I = \frac{MPd\,(E'-e)\,K}{(P-E')\,(P-e+ed)}$$

Poniamo ora per maggiore comodità che la quantità di calorico comunicata dall'irradiazione sia uguale alla frazione $^1/_r$ della quantità comunicata dal contatto dell'aria; avremo

$$I = {}^1/_r\,.\,M.\left\{\frac{c\,(P-e)+c'ed}{P-e+ed}\right\}(T-T'),$$

e perciò sarà

$$M\left\{\frac{c\,(P-e)+c'ed}{P-e+ed}\right\}(T-T')(1+{}^1/_r) = \frac{MPd\,(E'-e)\,K}{(P-E')(P-e+ed)}$$

da cui

$$(F)\quad \left\{c(P-e)+c'ed\right\}(T-T')(1+\alpha t) = \frac{PKd(E-e)}{P-E'},$$

Equazione della quale dopo diverse riduzioni si ha

$$(G)\quad e = E' - \frac{(E'c'd-E'c+Pc)(P-E')(T-T')(1+\alpha t)}{PdK+(P-E')(c'd-c)(T-T')(1+\alpha t)},$$

coll'ajuto della quale equazione, allorchè si conoscano per mezzo della sperienza tutte le quantità contenute nel secondo membro, si potrà avere il valore della quantità *e* contenuta nel primo, vale a dire la tensione del vapore acqueo esistente nell'aria.

Nello stato attuale della scienza noi possiamo già trarre profitto da questa equazione pel caso che la pressione atmosferica *P* sia quella di 760 millimetri di mercurio. In questo caso noi abbiamo

$$d = 0{,}620$$
$$P = 760$$
$$c = 0{,}2669$$
$$c' = 0{,}847$$
$$K = 552{,}8 - 0{,}153.\ T'$$

(Veggasi, per riguardo al valore di *K*, al § 732).

Quindi

$$e = E' - \frac{(E'.0{,}25824+202{,}844)(760-E')(T-T')(1+\alpha t)}{(552{,}8-0{,}153.T')0{,}620.760+0{,}25824(760-E')(T-T')(1+\alpha t)},$$

equazione la quale dopo parecchie riduzioni si riduce a quest'altra

$$(H)\ e = E' - \frac{(592{,}0-0{,}000991\,(E'+12{,}73)^2)(T-T')(1+\alpha t)}{1000-0{,}277.T'+0{,}753(1-\frac{1}{100}E')(T-T')(1+\alpha t)}$$

ossia approssimatamente a quest'altra

$$(L)\quad e = E' - 0{,}592\ (T-T')(1+\alpha t),$$

la quale ultima equazione pe' valori di $(T-T')$ non maggiori di 15° C., e supposto $T' > 0$, dà per la *e* un valore

l quale non arriva a differire di $^1/_{10}$ di millimetro da quello lato dall'equazione (H). E trascurando finalmente la $^1/_r$ in onfronto dell'unità si ha approssimatamente (*)

N) $$e = E' - 0{,}592\ (T - T').$$

736. Tocca ora alla sperienza a dare il giusto valore a uesto metodo e a queste formole; perocchè essi s'appog-giano, come abbiam detto, a ipotesi e a dati non affatto icuri; di maniera che considerati a *priori* non ispirano ntera fiducia.

Ecco alcune prove che io feci con un tal metodo a va-ie temperature, in paragone con altre prove fatte nelle nedesime circostanze coll'Igrometro ad appannamento già lescritto, cominciando da quelle fatte alle temperature più basse.

(*) Questa formola coincide con quella a cui si riduce una più generale di August col supporre la pressione atmosferica li 760 millimetri di mercurio (Gehler's *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, t. V, p. 641). Siffatta formola più generale ridotta ai nostri simboli è la seguente:

$$e = E' - 0{,}00077832\ (T - T')\ P.$$

Io stimo però che essa non sia sicura che pel caso particolare li $P = 760$, giacchè i dati numerici a cui s'appoggia corrispondono appunto a questo valore di P. Mi farò poi lecito di osservare che il ch. autor tedesco sì ne' suoi calcoli, come anche nelle sue sperienze, non tenne il debito conto dell'influenza dell'irradiazione; il che fu la causa, cred'io, de' dispareri che v'ebbero fra varii autori intorno a questo metodo (Gehler's *Physik. Wörterb. neu bearb.* t. V, p. 647) e della poca riuscita ch'esso ebbe finora.

24 Febbrajo 1831, *ore 4 pomeridiane.*

Temperatura dell'aria ridotta in gradi centigr.	+ 9°,06	
Temperatura ottenuta coll'evaporazione affrettata	+ 4, 88	
Termine di saturazione, e tensione del vapore dedotti col calcolo dal raffreddamento cagionato dall'evaporazione	— 2, 0	mill. 4,4
Termine di saturazione, e tensione del vapore dati dall'Igrometro ad appannamento	— 1, 25	» 4,67

3 *Marzo* 1831 *ore* 11 *antimeridiane.*

Temperatura dell'aria. . . .	+ 14°,25 C.	
Temperatura data dall'evaporazione affrettata	+ 9, 375	
Termine di saturazione, e tensione del vapore dedotti dall'evaporazione	+ 3 1/3 .	mill. 6,26
Idem dedotti dall'Igrometro ad appannamento	+ 4, 0	» 6,5

19 *Marzo* 1831 *ore* 3. 30′ *pomeridiane.*

(La giornata fu ventosa fino dalla mattina, e straordinariamente secca, come mi veniva indicato da un Igrometro a vescichetta di pesce; l'aria era serena, ma non limpida e non fredda).		
Temperatura dell'aria . . .	+ 15°,5 C.	
Temperatura dell'evaporazione affrettata	+ 6, 75	
Tensione del vapore invisibile dedotta dall'evaporazione		mill. 2,56
Temp. dell'Igrometro ad appannamento e tens. del vapore dedotta	— 3, 75	» 3,98

Idem *a ore* 4. 10′ *pomeridiane.*

Temperatura dell'aria	+ 15°,7 C.	
Temperatura dell' evaporazione affrettata	+ 7, 125	
Tensione del vapore dedotta dall'evaporazione	mill.	2,86
Temp. dell'Igrometro ad appannamento e tens. del vapore dedotta	— 4, 5	» 3,78

26 *Giugno* 1829.

Temperatura dell' aria . . .	+ 27°,375 C.	
Temperatura dell' evaporazione affrettata	+ 19, 625	
Termine di saturazione, e tensione del vapore dedotti dall'evaporazione	+ 14, 31	mill. 12,32
Idem dall'Igrometro ad appannamento	+ 14, 46	» 12,43

Da queste e da parecchie altre prove che io feci, mi pare di poter conchiudere, che quantunque il metodo di cui ci occupiamo non dia de' risultamenti pienamente concordi con quelli dell' Igrometro ad appannamento, al quale per riguardo all'esattezza io do di lunga mano la preferenza, pure esso metodo non ne va gran fatto lontano, specialmente ne' casi ne' quali l'aria non è estremamente secca. Si potrebbe obbiettare che la discordanza si renderebbe ancor più grande, se si togliesse affatto l' influenza dell' irradiazione; nel qual caso, raffreddandosi qualche poco di più il termometro bagnato, la quantità calcolata del vapore, già alquanto scarsa anche trascurando (come abbiam fatto) di avere il dovuto riguardo a una siffatta irradiazione, diverrebbe ancora più piccola e quindi più erronea. Ma io osservo a rincontro che le mie sperienze sono state eseguite in Milano ove la pressione atmosferica suol essere alcun poco minore di 760 millimetri di mercurio; che tanto maggiore è la quantità del calorico reso latente nella formazione di una data quantità di

vapore, quanto più rara è l'aria in cui esso vapore si diffonde; e che quanto più quest'aria è rara, tanto meno, a parità di volume, ella è capace pel calorico, e però tanto men calorico ella viene a perdere per un dato suo raffreddamento. In quelle sperienze pertanto, essendo il vapore più atto a togliere calorico alla bolla bagnata e l'aria meno atta a restituirlene, il raffreddamento ha dovuto mostrarsi alcun poco maggiore, che se si avesse avuta la suddetta pressione di 760 millimetri supposta ne' calcoli fattii. Per conseguenza una parte del suddetto errore in meno si dee attribuire a questa cagione.

Le deduzioni adunque che si ricavano dal metodo presente non ci danno diritto di riguardarlo siccome inesatto; che anzi in molte occasioni esso può già servire utilmente. Piuttosto la piccola discordanza che io ho trovata fra questo metodo e quello dell'*appannamento* è da attribuirsi ad alcune inesattezze che io non ho potuto schivare nelle prove da me eseguite, le quali inesattezze sono diverse, vale a dire: 1.° l'inesattezza nella graduazione de' termometri adoperati tanto per l'Igrometro ad appannamento, quanto pel metodo *psicrometrico*, i quali termometri è difficile che non discordino fra loro di più centesimi di grado centigrado; 2.° l'inesattezza de' numeri esprimenti le capacità pel calorico tanto dell'aria, quanto del vapore acqueo; 3.° l'inesattezza de' numeri esposti nella tavola del § 752 per le tensioni del vapore acqueo alle varie temperature; 4.° le inesattezze inevitabili nella esecuzione delle sperienze. Io ho perciò molta fiducia che il metodo sia in se stesso esatto, e che sieno vere le ipotesi adottate, e che soltanto converrebbe rettificare i dati numerici impiegati.

Paragonando i risultamenti del *Psicrometro* con que' dell'Igrometro ad appannamento, noi troviamo che i primi sono generalmente minori de' secondi, il che indicherebbe che il coefficiente 0,592 dell'equazione (N) è troppo grande. Però la discordanza non fu di qualche conto che nelle sperienze del 19 marzo, nelle quali l'aria era secchissima e l'Igrometro ad appannamento discese parecchi gradi sotto a 0°. Può dipendere questa maggiore discordanza (oltre alle inesattezze nello sperimentare): 1.° dalla troppa grandezza

del coefficiente 0,592, la quale dee produrre un errore tanto maggiore, quanto più grande è il fattore $(T-T')$; 2.° dall' essere per avventura poco esatta la colonna delle tensioni del vapore acqueo al di sotto di 0° nella tavola del § 752, potendo alle temperature inferiori a 0° non essere applicabile la legge trovata pel vapore dell' acqua ancor liquida. Ben pare che presso a 0° la forza evaporante del ghiaccio sia la stessa di quella dell'acqua: avendo io immerso nella neve della temperatura di — $^3/_4$ R. (era il 2 febbrajo 1831) un Igrometro a vescichetta di pesce, questo mi discese esattamente sino al punto dell'umido massimo, come avrebbe fatto in mezzo ad un recipiente ove tutto all'intorno le pareti fossero state bagnate d'acqua ancora liquida alla temperatura medesima. Così pensa anche Gay-Lussac, il quale asserisce che *il vapore di una medesima sostanza allo stato liquido e allo stato solido ma ad una stessa temperatura, ha la medesima tensione* (1). E ciò s'accorda con una esperienza diretta fatta dal medesimo Fisico a —20° C., alla quale temperatura egli trovò che il vapore del ghiaccio ha quella medesima tensione, la quale si dedurrebbe dalla legge che ha luogo pel vapore dell'acqua (2). Però non sarebbe inopportuno il verificare la legge di questa tensione per parecchie di tali temperature inferiori a 0°.

Egli è poi da avvertire, come venne già notato da altri (3), che quando coll'evaporazione si ottenesse nel *Psicrometro* una temperatura inferiore a 0°, e la bolla bagnata venisse perciò ad essere rivestita di una crosta di ghiaccio, in tal caso la quantità di calorico ridotta latente coll'evaporazione medesima sarebbe più grande che nel caso dell'evaporazione dell'acqua, e in luogo di essere espressa, corrispondentemente alla pressione di 760 millimetri, da

$$552,8 - 0,153.\ T',$$

dovrebbe esserlo da

$$627,8 - 0,153.\ T';$$

(1) *Annales de Chimie et de Phys.* t. VII, p. 311.
(2) Biot, *Traité*, t. I, p. 287 citato poco indietro al § 753.
(3) Gehler's *Physik. Wörterb. neu bearb.*, t. V, p. 647.

il che rende necessario pe' valori di $T' < 0$ una diminuzione nel coefficiente 0,592 dell'equazione (N) di circa un ottavo.

Per dare poi un pieno compimento al metodo, oltre alla rettificazione de' dati numerici per le temperature superiori a 0° e per la pressione di 760 millimetri di mercurio, e oltre alla verificazione della legge della tensione del vapore acqueo sotto a 0°, converrebbe estendere alcuni de' suddetti dati, vale a dire la capacità specifica dell'aria e del vapore acqueo, anche alle altre pressioni barometriche; affinchè si potesse saper modificare opportunamente per tutti i casi il coefficiente 0,592, ed anche costruire quelle tavole di cui si è parlato al § 831. E assai vantaggioso sarebbe che qualche Fisico si accingesse a questo lavoro; perocchè il metodo di cui si tratta in quanto alla pratica è comodissimo, specialmente ne' viaggi, non esigendo se non strumenti di facilissimo trasporto, che difficilmente si rendono inesatti, che si sanno fabbricare con sufficiente precisione, e che ciascuno sa facilmente adoperare.

737. Facendo nell'equazione (N) la $e = o$, ovvero dando ad e diversi particolari valori, noi possiamo da essa avere il grado di raffreddamento che può venire prodotto dall'evaporazione affrettata o nell'aria perfettamente asciutta o in aria che abbia de' conosciuti gradi di umidità. Si ha in fatti

$$0,592.T' + E' = e + 0,592.T,$$

dalla quale equazione, quando si conoscano la e e la T, col metodo delle doppie false posizioni si può facilmente avere la T'.

Supponiamo per un esempio che l'evaporazione avvenga nell'aria asciuttissima alla temperatura di + 25° C. Noi avremo

$$e = 0,\ T = 25,$$

da cui

$$0,592.T' + E' = 14,8$$

la quale ci dà

$$T' = 9°,5;\ T - T' = 15,5$$

Ora Gay-Lussac in una serie di sperienze da lui fatte su questo soggetto (*) trova

$$T' = 10{,}3,\ T - T' = 14{,}7$$

con una differenza di 0°,8 C. dal mio calcolo. Una parte di questa differenza nasceva sicuramente dall' irradiazione de' corpi circostanti, la quale in queste sperienze di Gay-Lussac restituiva calorico alla bolla termometrica bagnata e raffreddata per l'evaporazione.

Gay-Lussac facendo uso di un' altra formola pochissimo diversa trova

$$T' = 9{,}25$$

risultamento che differisce dalla sperienza di 1°,05 C.

Fece altresì Gay-Lussac delle sperienze di questo genere a pressioni diverse da quella di 760 millimetri; possono queste dar qualche lume sulle modificazioni da farsi al coefficiente 0,592 in grazia del cangiare della pressione atmosferica; ma noi non possiamo che rimandare i lettori alla sua memoria originale.

838. *Igrometri.* Per avere prontamente le indicazioni del grado di umidità dell'aria, senza ricorrere a sperienze le quali non sono eseguibili che da persone versate nella scienza e richieggono tempo e diligenza, si sono immaginati alcuni stromenti ai quali si è dato il nome di *Igrometri.*

Fra questi il più perfetto si stima essere quello a capello inventato da Saussure e che si vede rappresentato nella fig. 28. Esso è principalmente formato di un capello ben sano reciso dal capo di persona viva e sana, e fatto bollire in una leggiera soluzione di soda o di potassa per togliergli il naturale untume che il renderebbe difficile ad assorbire l'umidità. Si attacca questo capello da una delle estremità a un punto fisso, e dall' altra si avvolge ad una rotella munita

(*) *Annales de Chim. et de Phys.*, t. XXI, p. 89.

d'un indice, e si tien teso con un pesetto pendente da un filo avvolto alla rotella medesima. L'umido penetrandovi lo allunga, lascia discendere il pesetto e girar la rotella, e questa muove l'indice verso i gradi della maggiore umidità che sono segnati su di un arco di cerchio; quando invece l'aria è asciutta il capello si dissecca e s'accorcia, e l'indice si muove verso i gradi della minore umidità. Per graduare lo strumento, Saussure cominciava a collocarlo in un vaso le cui pareti erano bagnate d'acqua, e quindi il trasportava in un altro asciutto e caldo dove collocava un pezzo di lamina di ferro coperto di potassa disseccata coll'arroventamento; seguava i punti cui corrispondeva l'indice nella prima e nella seconda prova co' numeri 100° e 0°, rispettivamente, e divideva l'intervallo in cento parti uguali. Non occorre poi che queste due prove sieno fatte a temperature determinate, giacchè i punti estremi risultano i medesimi a qualsivoglia temperatura vengano segnati.

Questo Igrometro ha il pregio di una grande prontezza nelle sue indicazioni, mettendosi in pochissimo tempo ad equilibrio *igrometrico* coll'aria (§ 815); esso è altresì *costante*, segnando sempre il medesimo grado di umidità quando la quantità del vapore e la temperatura ritornano le medesime; non sente azione dai vapori delle altre sostanze ma solamente da quelli dell'acqua, e similmente pare che non senta nessun effetto dal cangiarsi della densità dell'aria; infine avendosene parecchi costrutti al medesimo modo, segnano tutti nelle medesime circostanze prossimamente uno stesso grado.

839. Sono però necessarie alcune avvertenze nell'adoperarlo; 1.° Avanti di leggerne le indicazioni, giova o coll'àlito o con altro mezzo portarlo all'umido massimo, e quindi lasciarlo a se un tempo bastevole perchè ritorni all'equilibrio coll'umidità dell'aria. Acquista con ciò una grande sensibilità; mentre se già da molto

tempo sia rimasto esposto al secco, si trova aver contratta una certa inerzia al muoversi, in forza di cui si tiene qualche poco indietro tanto nel recarsi verso l'umido quanto nel portarsi verso un secco maggiore. Forse n'è causa la coesione delle molecole, la quale divenendo più grande per questo secco, rende più difficile al vapore sì l'ingresso che l'uscita. 2.° Mentre è in esperienza non deve trovarsi esposto nè ai raggi solari nè ad una luce troppo viva, altrimenti o per l'assorbimento del calorico raggiante oscuro, o per quello de' raggi solari, esso si riscalda più dell'aria ambiente, e mostra un secco maggiore, anche di più gradi, di quel che farebbe essendo alla temperatura dell'aria. 3.° È poi evidente che si dee tenerlo riparato dall'alito e dalla traspirazione dell'osservatore, come anche dalla vicinanza di corpi o umidi o caldi.

840. Ma per trarre buon partito da questo Igrometro rimane a sapere come debbano interpretarsi le sue indicazioni, o come da esse si possa ricavare qual sia la quantità e la tensione del vapore esistente in una data massa d'aria. La quale determinazione riesce tanto più difficile in quanto che per una medesima quantità di vapore, il grado dell'Igrometro varia secondo la temperatura, camminando esso verso il secco a proporzione che quest'ultima si eleva, e verso l'umido a misura ch'ella s'abbassa (§ 812). Intorno a questo soggetto fece un gran numero di sperienze il medesimo Saussure, da lui esposte nella sua Igrometria; altre ne fece Gay-Lussac in questi ultimi tempi, ed altre altri autori. Noi ci fermeremo un momento intorno a quelle di Gay-Lussac, che si hanno per molto accurate, ma che però si limitano alla sola temperatura di $+10°$C.

Si procurò egli acqua pura, soluzioni di sal comune in diverse proporzioni, soluzioni diverse di muriato di calce, acido solforico allungato con varie proporzioni d'acqua, acido solforico concentratissimo, vale a dire

diversi liquidi che fossero atti, posti separatamente in vasi chiusi, a portare il vapore acqueo a diverse tensioni, le quali egli determinava per mezzo del barometro (§ 751) corrispondentemente alla temperatura di +10° C. L'acqua portava il vapore alla tensione massima, l'acido solforico concentrato a una tensione nulla, e gli altri liquidi a tensioni intermedie. Quindi collocava entro un vaso di vetro ben chiuso un buon Igrometro a capello, ponendovi insieme ora l'uno di questi liquidi ed ora l'altro, ed osservava le sue indicazioni. E da ciò ottenne i punti della scala dell'Igrometro corrispondentemente a una serie di punti nella scala delle tensioni. Avendo Biot osservata fra queste tensioni e i gradi dell'Igrometro una legge di relazione alquanto regolare e che si poteva esprimere per mezzo di una formola algebraica, adottò questa formola come la vera legge, e ne dedusse una tavola che indica le tensioni de' vapori a +10° C., per tutti i gradi dell'Igrometro da 0° a 100°. Può vedersi questa tavola in molte opere di Fisica, p. e. nel *Traité* di Biot alla fine del tomo I.

841. Avendo io pure considerato questa legge di corrispondenza, nel supposto che sia esatta la tavola del § 752, mi è avvenuto di riconoscere una semplicissima relazione fra i gradi di questo Igrometro, e i gradi de' quali si dovrebbe raffreddar l'aria per portare alla saturazione il vapore in essa esistente. Ella è questa: *Quante volte il numero de' gradi dell' Igrometro manca di* $2\frac{1}{2}$ *dal* 100, *tanti sono i gradi centigradi di cui conviene raffreddar l'aria*, supposta libera e non chiusa in vasi, e dotata della temperatura +10° C., *affine di renderla satura del vapore che contiene*. Se, p. e., l'Igrometro segna 90°, dobbiamo raffreddar l'aria di 4° C. e portarla da +10° C. a +6°, e allora essa aria sarà al punto di saturazione. Segnando il medesimo Igrometro 87°, leveremo alla temperatura dell'aria gradi $\frac{13}{2\frac{1}{2}}$ os-

sia gradi 5,2, e con ciò essa aria si troverà saturata dal vapore che contiene. Sarebbe a desiderarsi che questa relazione valesse anche per le altre temperature, o almeno che ne avesse luogo una somigliante per ciascuna temperatura. Avvertirò poi che una tal regola non dee ritenersi come una legge rigorosa della natura, ma soltanto come una legge empirica ed approssimativa, la quale dentro a quei limiti fra cui occorre d'usarne, cioè fra il 40° e il 100° grado dell'Igrometro (sempre alla temperatura di +10° C), dà risultamenti vicinissimi al vero.

Intorno alla corrispondenza fra i gradi dell'Igrometro a capello e la quantità assoluta del vapore acqueo contenuto nell'aria, fece altresì diverse sperienze il sig. Macedonio Melloni, cercando di estendere ad altre temperature quelle istituite da Gay-Lussac per la temperatura di +10° C. (1). Io mi limito a citarle, augurando che il dotto Fisico di Parma riesca in qualche tempo a dar loro compimento.

842. Oltre al precedente Igrometro se ne sono immaginati dai Fisici di moltissime altre maniere; intorno a questi si può consultare la *Encyclopédie Méthodique* nella sezione *Physique*, all'articolo *Hygromètre*, ovvero il nuovo Dizionario fisico di Gehler pure all'articolo *Hygrometer*.

Fra essi noi citeremo quello di Deluc a nastro d'osso di balena, del quale quest'autore fa tanta stima quanta Saussure di quello a capello.

Farem pure menzione di quello a *tunica villosa* immaginato dal P. Gio. Battista da S. Martino (2), e perfezionato dal Bellani (3), il quale in luogo della *tunica villosa* trova assai utile altresì l'uso di una

(1) *Annales de Chimie et de Phys.*, t. XLIII, p. 39.
(2) *Opuscoli scelti di Milano*, t. VIII, p. 281.
(3) Lettera al conte Dandolo *sull'uso de' varii strumenti necessarii al governo de' bachi*, p. 36.

striscia di pergamena segata per traverso: questo igrometro sebbene non goda della perfezione di quello a capello, ha in iscambio la prerogativa di essere men soggetto a venir danneggiato in mano di persone poco abili, come anche quella di mostrare con maggior minutezza i gradi dell'umidità.

Ricorderemo finalmente quelli a recipiente con mercurio, ne' quali le pareti dilatandosi per l'umido e restringendosi pel secco, lasciano discendere o fanno salire questo liquido metallo entro un tubo munito di scala graduata, alla guisa di altrettanti termometri. Uno de' primi fra questi fu quello di Deluc, ove il recipiente era un tubo di penna da scrivere. Wilson sostituì per recipiente la vescica orinaria di sorcio, e Bellani in fine la vescichetta natatoria de' pesci (*). Questi ultimi del Bellani hanno il pregio di una squisita sensibilità, e di una grande comodità in certe sperienze atteso il piccolo spazio occupato dal corpo igrometrico.

Formazione della rugiada e della brina.

843. Uno de' più comuni fenomeni meteorologici è quello della formazione della rugiada, cioè della deposizione di quell'acqua di cui veggiamo coperte le erbe e un gran numero de' corpi stati esposti all'aria nelle notti tranquille e serene.

Dubitavasi in addietro che la rugiada cadesse dall'alto a somiglianza della pioggia. Ma a questa opinione si opponevano gravi difficoltà. Perchè in fatti ella non cade egualmente copiosa su tutti i corpi; ma le erbe, la lana, le piume ec. ne ricevono più abbondantemente che non le pietre? Perchè sui metalli o non ne cade punto o pochissima quantità?

La vera cagione di questo fenomeno venne ritro-

(*) Lettera al Conte Dandolo, ec., p. 43.

ata e con molte osservazioni e sperienze dimostrata la non molto tempo dal celebre Wells; secondo il quale esso fenomeno consiste nella *condensazione del vapore acqueo sparso per l' atmosfera, sui corpi stati raffreddati per l'irradiazione verso gli spazii celesti.* Tutti corpi in qualsivoglia tempo irradiano calorico più o meno secondo la loro temperatura e secondo la loro facoltà emittente; in un gran numero di casi però la perdita viene più o meno riparata o dall'assorbimento del calorico irradiato dagli altri corpi, o dai raggi del Sole, o in altri modi. Ma se essi corpi sieno collocati in una notte serena in un luogo scoperto, quella loro faccia che guarda il cielo non riceve indietro se non pochissima quantità di calorico in ricambio di quella che da essa faccia viene irradiata verso l'alto (vedi il § 579 e i seguenti), perciò in questa faccia essi si raffreddano notabilmente, e raffreddano insieme l'aria che è loro contigua; e se questa perdita di calorico è favorita da una grande facoltà emittente, e se il corpo ha una debole facoltà conduttrice, in modo che dalle parti sottoposte alla superficie raggiante non possa arrivare a questa se non poca copia di calorico, una tale superficie può tanto raffreddarsi e di tanto abbassare la temperatura dell'aria contigua da costringerla a deporre allo stato liquido quel vapore che prima ella teneva aeriforme; e questa deposizione avviene appunto sulla superficie raffreddata, la quale prima si inumidisce e quindi si copre di minute gocciole e talora anche di una falda liquida continua.

Questa spiegazione, oltre alla ragionevolezza che subitamente vi si riconosce, viene meravigliosamente confermata da tutte le particolarità che si presentano in un tale fenomeno. Primieramente la rugiada è più abbondante ne' tempi e ne' luoghi umidi; p. e. vicino alle fontane, dopo tempi di pioggia, dopo venti marittimi, nelle quali circostanze l'aria contiene appunto una maggiore quantità di vapore e più facilmente ne

può deporre sulla superficie de' corpi. Ella è maggiore ne' luoghi donde sia visibile una più estesa parte di cielo, che in quelli ove sieno delle muraglie o altri corpi che in parte tolgano la libera veduta di esso; e ciò avviene in conseguenza della diversità della perdita di calorico sofferta per l'irradiazione, perdita che è evidentemente tanto maggiore quanto più i luoghi sono aperti. Nelle notti nuvolose o non cade rugiada o al più pochissima; e la ragione si è che allora il calorico irradiato dai corpi verso il cielo è in gran parte restituito dalle nubi (§ 580).

Le notti ventose sono similmente prive di rugiada: perciocchè l'aria col suo contatto cede del proprio calorico ai corpi presso cui passa, e impedisce che bastantemente si raffreddino e determinino la deposizione del vapore. Nè può ella stessa col successivo contatto di più corpi tanto raffreddarsi da venire al di sotto della temperatura della saturazione, giacchè il rapido moto di cui è dotata la fa rimescolare seco medesima.

Quando però il moto dell'aria sia leggiero, la formazione della rugiada n'è anzi facilitata. Giacchè esso se non arriva a un certo grado di velocità non impedisce il necessario raffreddamento de' corpi; e quantunque abbia lo svantaggio di far comunicare ai corpi maggiore quantità di calorico che quando l'aria è tranquilla, fa altresì passar loro vicino una più copiosa quantità d'aria che vi può deporre una più abbondante quantità di vapore: senza nessun movimento dell'aria non vi sarebbe quantità sensibile di rugiada. Un piccolo moto poi vi è sempre nell'aria per qualche venticello o per altra cagione.

I corpi che sono buoni conduttori del calorico, e quelli che hanno poca facoltà emittente ricevono pochissima rugiada; i primi, perchè il calorico accorre facilmente alla parte raffreddata dalle parti rimanenti sottoposte e interne; i secondi, perchè non possono

raffreddarsi per l'irradiazione verso gli spazii celesti quanto sarebbe necessario perchè si coprissero di un'abbondante deposizione di vapore. I metalli si trovano in questo caso sì per l'una ragione che per l'altra: la lana, le piume, il cotone sono nel caso contrario; godono essi di molta facoltà emittente e di poca facoltà conduttrice, e perciò vengono coperti di copiosa rugiada.

Un fatto che da taluni pareva difficile a conciliarsi coll'adottata ipotesi, ma che a ben guardare è con essa interamente d'accordo, si è che quanto più i corpi sono elevati dal suolo tanto minore quantità di rugiada ricevono, e che vi ha un certo limite d'altezza al quale la rugiada cessa affatto (*). Ciò nasce senza dubbio dal minore raffreddamento che può aver luogo a tale altezza dal suolo tanto nell'aria quanto ne' corpi isolati (§ 660). L'aria che co' suoi continui movimenti arriva a questi corpi, non essendo precedentemente passata a contatto di altri corpi raffreddati per l'irradiazione, ma incontrando pei primi quelli che noi consideriamo, non può da essi soli venire raffreddata come fa quella vicina a terra. E i corpi stessi, essendo continuamente esposti all'azione di aria rinnovata, che, come abbiam detto, non è ancora stata raffreddata da altri corpi, e la quale inoltre ha movimenti più liberi di quella vicino a terra, vengono più facilmente rifatti del calorico che perdono per l'irradiazione. In conseguenza di ciò l'aria che passa in vicinanza di questi corpi viene determinata men facilmente a deporre il vapore contenuto.

Un fenomeno analogo alla rugiada e che similmente dipende dall'umidità atmosferica, è quello della deposizione del vapore che si osserva d'estate sui vasi ripieni d'acqua fredda. Un altro è quello che ha luogo

(*) *Annali delle Scienze del Regno Lombardo-Veneto*, 1831, p. 38.

talvolta quando i vetri delle finestre sono freddi e l'aria esteriore è calda ed umida; noi li veggiamo con sorpresa inumidirsi e bagnarsi esteriormente.

844. Se la temperatura de' corpi esposti al cielo sereno venga a passare sotto a 0° C. (il che può facilmente avvenire quando l'aria si trova non più calda di quattro o cinque gradi centigradi sopra lo zero), allora in luogo di rugiada abbiamo la *brina*. Il qual fenomeno ci si presenta pure sulla superficie dei vasi quando in questi si pongono delle mescolanze frigorifiche; e più comunemente d'inverno sui vetri delle finestre allorquando questi divengono freddissimi, e sopra la loro superficie interna si condensano allo stato solido i vapori disseminati nell'aria dell'interno delle abitazioni (*).

(*) Intorno ai fenomeni precedentemente esposti è da leggersi l'*Essai sur la rosée et sur divers phénomènes qui ont rapport avec elle, par Charles William Wells, traduit de l'anglais sur la seconde édition, par Tordeux, Paris* 1817; ed anche gli *Annales de Chimie et de Physique*, T. VI, p. 183.

NOTA

Descrizione del Modello di Macchina a vapore posseduto dal Gabinetto di Fisica dell'I. R. Liceo di Porta Nuova in Milano, con alcune notizie sulle Macchine a vapore in genere (*).

Ho creduto opportuno di dare piuttosto la descrizione di un tale Modello, anzichè di una Macchina a vapore che venga effettivamente impiegata in qualche manifattura o a qualche altro uso, per la ragione che cotali Macchine sono in generale assai complicate, siccome quelle che oltre alle parti principali e a tutte comuni hanno eziandio diverse altre parti secondarie, utilissime per gli usi speciali delle Macchine stesse, ma che difficilmente si possono far conoscere con sole figure e descrizioni e senza avere sott'occhio le Macchine medesime, e che anzi rendono malagevole l'intelligenza del general modo di operare delle Macchine a vapore. Di tale complicazione va esente il Modello che io prendo a descrivere, trovandosi in esso raccolto solamente quanto v'ha di più essenziale in questo genere di macchine, e può esso perciò agevolmente far conoscere in qual modo la forza espansiva del vapore acqueo possa essere sì utilmente e sì efficacemente impiegata. Oltre a ciò parecchie altre delle nostre scuole posseggono de' Modelli somiglianti a questo, e gli allievi trarranno profitto dalla corrispondenza fra cotali Modelli e la presente descrizione, servendosi gli uni e l'altra di reciproca intelligenza.

Questo Modello presenta le parti più importanti di una Macchina a vapore a *doppio effetto*, secondo il metodo di Watt. Esso si trova rappresentato dalle varie figure della tavola II; dove

La fig. 1. ne mostra la prospettiva insieme colla Caldaja e il Fornello;

La fig. 2. ne fa vedere la pianta;

La fig. 3. presenta uno spaccato della *Valvula di sicurezza*;

(*) Vedi al § 772.

La fig. 4. presenta in scala più grande uno spaccato della Macchinetta, supposta segata con un piano verticale secondo la linea YY′ della fig. 2, e guardata dalla banda di X, e mostra insieme il cilindro C collocato posteriormente; l'oggetto della quale figura è quello di far conoscere l'ufficio del *Regolatore;*

La fig. 5. finalmente rappresenta una porzione della figura precedente colla chiave U del *Regolatore* rivolta in altro verso.

Coll'ajuto di queste figure io mi farò a descrivere partitamente i diversi pezzi del Modello, mostrando l'uso particolare di ciascuno. Sono questi pezzi: la *Caldaja*, il *Tubo che conduce il vapore*, il *Regolatore*, il *Cilindro*, il *Bilanciere*, il *Volante*, il *Moderatore*, il *Condensatore*, la *Tromba aspirante e premente*, l'*Ordigno per la Comunicazione del moto* agli altri meccanismi.

I. *Caldaja.* Può questa nelle vere Macchine essere di ferro laminato, ovvero di rame laminato (il che si pratica specialmente in mare dove il ferro verrebbe facilmente corroso dall'acqua salsa), ovvero anche, quando debba essere molto robusta come nelle Macchine costruite secondo il metodo di Perkins, ella può consistere in più cilindri di ferro fuso comunicanti fra loro per mezzo di tubi della stessa materia (questi cilindri vengono da Perkins chiamati *Generatori*, siccome quelli in cui si genera il vapore). Nel Modello che descriviamo, il quale non abbisogna di cotanta robustezza, una tale Caldaja, indicata da A, è di lamina di rame. La forma può essere di più maniere; noi ci restringeremo a dire che si procura di farla adattata a poter resistere alle pressioni dall'indentro all'infuori.

Entro la Caldaja si pone dell'acqua per due terzi o per tre quarti circa della sua capacità; e quest'acqua riscaldata dal fuoco del sottoposto fornello somministra il vapore che mediante il Tubo di cui parleremo fra poco viene condotto fino al Cilindro. Per meglio poterla riscaldare si fa che venga investita dal fuoco non solo inferiormente ma anche dalle parti laterali, ed anzi molte volte le vengono fatti passare attraverso de' tubi ove entrino le fiamme (§ 565).

La Caldaja è provveduta nel coperchio della così detta *Valvula di sicurezza*, parte importantissima e da cui di-

pende non solo la sicurezza della Macchina, ma ben anche la salvezza delle persone che la regolano e di quelle cui occorre di trovarlesi vicino. Nel nostro Modello consiste questa Valvula in una apertura conica O (fig. 3.), la quale mentre la Macchina è in azione sta chiusa mediante un pezzo cilindrico N terminato inferiormente a tronco di cono, e aggravato superiormente da un peso P (fig. 1) il quale viene portato da una leva L, ed è collocato a maggiore o minore distanza dal punto d'appoggio M secondo la più o men forza espansiva che si vuol permettere al vapore; e si tiene sempre esso pezzo cilindrico N aggravato soltanto fino a un tal punto che a sollevarlo si esiga men forza espansiva che a rompere le pareti della Caldaja. In alcune Macchine il peso è tutto portato dal coperchio N della valvula senza l'uso della leva. Perkins poi in luogo di somiglianti meccanismi fa che i suoi *Generatori* comunichino con de' tubi i quali abbiano sottili le pareti, di maniera che vengano a lacerarsi quando la tensione del vapore oltrepassa una certa grandezza. Si sono anche immaginate delle leghe metalliche fusibili con cui si ricoprono de' fori praticati a bella posta nella Caldaja e le quali si fondono prima che la forza del vapore salga a un troppo alto grado. Una operazione preliminare indispensabile poi si è quella di provare la Caldaja, specialmente quando la Macchina è ad *alta pressione*, tale cioè che il vapore lavori sotto un' esterior pressione maggiore di due atmosfere; il che si eseguisce col farle sostenere, o usando un torchio ad acqua o scaldando colle necessarie precauzioni la Caldaja riempiuta in parte di acqua, una pressione dall'indentro all'infuori che sia molto più grande di quella che essa Caldaja avrà a sostenere nell'uso ordinario. L'Accademia di Parigi propose che in questa prova la Caldaja debba resistere al quintuplo della forza che dovrà avere ordinariamente il vapore (*). Se la Valvula è a peso, un' avvertenza necessaria è altresì quella di non lasciare cotal Valvula in balía degli operai, i quali per ottenere dalla Macchina un maggiore effetto, potrebbero talvolta aggravare cotesta Val-

(*) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXVII, p. 95.

vula di più, e così mettere a pericolo la Macchina e chi vi sta d'intorno. Giova inoltre impiegare più d'uno de' suddetti preservativi, affinchè se mai l'un d'essi venisse a mancare dal suo ufficio, potesse supplire l'altro. In fine per una maggior precauzione, la suddetta Accademia propose che per quelle fra le Macchine ad alta pressione, le quali hanno una forza maggiore di quella di sei cavalli, la Caldaja venga circondata da un muro della grossezza di un metro, colla distanza similmente di un metro tanto dalla Caldaja a questo muro, quanto da un siffatto muro alle muraglie delle abitazioni vicine (*).

Nelle Macchine d'uso suol essere annesso alla Caldaja un *Manometro*, vale a dire uno strumento atto a far conoscere la tensione del vapore. Questo è generalmente formato da una canna ricurva di vetro colla curvatura situata inferiormente e ripiena in parte di mercurio, e la quale ha uno de' bracci in comunicazione coll'interno della Caldaja; l'altro braccio talvolta è chiuso contenendo una certa quantità d'aria asciutta, nel qual caso la tensione del vapore vien fatta conoscere dal volume a cui quest'aria si riduce, tenuto il debito conto della temperatura; talvolta questo secondo braccio è aperto all'aria libera, il che si pratica quando la tensione del vapore supera di poco la pressione atmosferica, e in questo caso la tensione medesima è misurata dalla differenza di livello del mercurio nelle due braccia del Manometro aggiunta all'altezza del mercurio stesso in un comune barometro. Questa seconda maniera di Manometro, quando la canna di vetro sia alquanto larga, può servire eziandio come Valvula di sicurezza supplementaria.

Vi ha altresì in molte di queste Caldaje un meccanismo il quale fa conoscere sino a quale altezza vi arrivi l'acqua contenuta. Nella macchina del Battello a Vapore sul Lago Maggiore questo meccanismo consiste in due chiavi ossia *robinets* poste l'una a diversa altezza dall'altra, e le quali se vengono aperte lasciano uscire o un soffio di vapore o

(*) *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXVII, p. 96 e 101.

uno zampillo d'acqua, secondo che il livello dell'acqua contenuta si trova al di sotto o al di sopra; con ciò si è avvertiti se sia necessario mediante una nuova introduzione di aumentare la massa della suddetta acqua contenuta, di cui si procura di mantenere il livello fra l'una delle chiavi e l'altra.

In fine anche l'apertura da cui s'introduce l'acqua suole essere provveduta di particolari ordigni, p. e. di quello da lasciare entrar l'acqua da se quando quella contenuta nella Caldaja si trova diminuita sotto un certo punto. Nel nostro Modello ciò manca, e l'apertura non è altro che un buco il quale si chiude mediante una vite, della quale si vede in Q (fig. 1.) la testa di forma quadrata.

II. *Tubo per condurre il vapore.* Il vapore acqueo sviluppato nella Caldaja viene condotto al Cilindro per mezzo di un apposito Tubo o condotto, il quale nel modello di cui ci occupiamo è indicato da *abcdef* (fig. 1. e 4.) Questo Tubo consta di varie parti *abc*, *cd*, *de*, *ef*, di forme molto diverse come appare dalla figura; e nel tratto fra *d* ed *e* è attraversato da una chiave o *robinet* indicata separatamente nella figura 4. da RS, la quale può restringere ed allargare la cavità del Tubo secondo che il bisogno lo esige, e forma parte essenziale del così detto *Moderatore* che descriveremo più innanzi.

III. *Regolatore.* Giunto il Tubo a un certo punto (che nel nostro Modello è il punto *f*) incontra esso un meccanismo detto da molti il *Regolatore*, il quale determina l'ulteriore cammino che dee secondo i casi tenere il vapore, s'egli cioè debba passare nella cavità o *camera* superiore del Cilindro, o se debba piuttosto recarsi in quella inferiore. Nel nostro Modello una tal parte della macchina è formata da una chiave U mostrata nella fig. 4 per la sua sezione trasversale, e la quale è collocata entro una cavità cilindrica ove fanno capo quattro tubi *ef*, *gh*, *lm*, *ij* disposti a modo di croce; l'uno *ef* di questi viene dalla Caldaja, un altro *gh* va alla cavità superiore del Cilindro C, un terzo *lm* comunica colla cavità inferiore del medesimo Cilindro, l'ultimo *ij* in fine ripiegandosi in *j* e prendendo dopo questo punto la direzione *jk* va a terminare nel Condensatore K. In questa chiave U vi hanno lateralmente due

incavature *fl*, *gi*, le quali quando sono disposte nel modo indicato dalla fig. 4 servono la *fl* a mettere in comunicazione la Caldaja colla inferiore camera del Cilindro, e la *gi* a stabilire la comunicazione fra la camera superiore di esso Cilindro e il Condensatore. Quando in vece le due incavature hanno la disposizione presentata dalla fig. 5 rimane al vapore libero il passaggio dalla Caldaja alla cavità superiore del Cilindro, e dalla cavità inferiore di questo al Condensatore. A scambiare queste comunicazioni serve il manubrio Z, al quale ora vien data la positura indicata dalle fig. 1 e 4, ed ora quella mostrata dalla fig. 5; in qual maniera però esso venga mosso, per non imbarazzare la descrizione, il diremo poco sotto, quando parleremo della Tromba aspirante e premente.

IV. *Cilindro*. È questo un cavo cilindro metallico, entro al quale scorre a tenuta d'aria e con moto alternativo uno stantuffo, unito ad un'asta la quale passa, pure a tenuta d'aria, attraverso ad uno de' fondi del cilindro medesimo. Nel nostro Modello questo Cilindro, indicato nelle fig. 1, 2 e 4 dalla lettera C, è di ottone e verticale; e l'asta dello stantuffo, indicata da T, ne attraversa il fondo superiore. In questo Modello lo stantuffo si innalza quando il vapore entra nel Cilindro dalla parte inferiore, vale a dire quando passa alla inferiore delle due cavità o *camere* nelle quali esso Cilindro viene diviso dallo stantuffo medesimo (e questo è il caso rappresentato dalle fig. 1 e 4); e in tanto sono spinti nel Condensatore l'aria o il vapore che si trovano nella camera superiore, l'aria in sul principio del muoversi della Macchina, il vapore quando i movimenti sono già incamminati. Viceversa lo stantuffo si abbassa allorquando il vapore entra nel Cilindro al di sopra dello stantuffo medesimo; e il vapore, ovvero l'aria (se si tratta de' primi movimenti), passano intanto dalla camera inferiore al Condensatore.

V. *Bilanciere*. È questo, come si vede indicato da BDEF nelle fig. 1 e 2, una leva di primo genere a braccia uguali simile all'asta di una bilancia, la quale riceve un moto alternativo come di altalena dal salire e dal discendere dello stantuffo.

Siccome però quando l'asta dello stantuffo fosse appli-

cata direttamente all'una delle estremità di questo Bilanciere, essa asta dovrebbe continuamente ne' suoi alzamenti e abbassamenti ora piegarsi ed ora raddrizzarsi, e in cotal modo rovinar se e il Cilindro; così questa comunicazione di moto ha luogo per mezzo di un meccanismo detto il *Parallelogrammo*, il quale ha per iscopo di mantenere sempre verticale quest'asta medesima. Si vede esso rappresentato nella fig. 1 da EFGHIJ, dove non solo le due braccia EG, FH, ma anche le due GH e IJ sono replicate dalla parte posteriore o più lontana dall'osservatore; il che siccome dalla fig. 1 non bene apparisce, così si è procurato di supplirvi colla fig. 2. Uno de' lati di questo Parallelogrammo, cioè il lato indicato nella figura da EF, è formato da porzione di uno de' bracci del Bilanciere; uno de' due angoli opposti al Bilanciere medesimo, cioè l'angolo G, è congiunto colla estremità mobile I di un braccio girevole IJ il quale dall'altra estremità J è fermato ad un punto fisso intorno a cui può girare, e l'altro H de' suddetti due angoli è unito alla estremità superiore dell'asta dello stantuffo. Quando avviene che la estremità F del Bilanciere, nel suo discendere al di sotto del centro di rotazione D del Bilanciere medesimo, si ritiri alcun poco verso la sinistra dell'osservatore, e che anche l'angolo E si ritiri qualche poco dalla medesima banda, l'angolo G si ritira in vece verso la destra, e perciò il lato EG da verticale diviene inclinato, e inclinato diviene pure il lato FH parallelo ad EG, avanzandosi colla estremità H verso la destra e correggendo così il retrocedimento a sinistra della estremità F del Bilanciere, la quale correzione, quando le dimensioni de' varii pezzi sono opportunamente scelte, è sensibilmente perfetta, di maniera che il punto di mezzo fra i due H della fig. 2, nello alzarsi e nello abbassarsi dello stantuffo, si conserva sempre nella stessa verticale, vale a dire nel prolungamento dell'asse del Cilindro, o almeno se ne scosta pochissimo, talchè basta la elasticità dell'asta metallica T a permettere quei pochi e insensibili piegamenti che possono restare.

Intanto che per l'azione del vapore si alza e si abbassa lo stantuffo, succede un analogo movimento di salita e di discesa nel braccio DF del Bilanciere e un movimento contrario di discesa e di salita nel braccio opposto DB a cui

è annesso il Volante, con che si determina in esso Volante un moto rotatorio, come passiamo a vedere.

VI. *Volante.* Tale è il nome che si dà ad una ruota, indicata pel nostro modello da A′B′ (fig. 1 e 2), la quale mossa dal Bilanciere serve a convertire il moto alternativo di questo in un moto rotatorio continuo, e inoltre a diminuire le irregolarità della sua velocità. Quando il braccio DB del Bilanciere si abbassa, l'asta verticale BC′ che unisce questo braccio col Volante per mezzo del manubrio D′E′, è forzata anch' essa ad abbassarsi e a far rotare cotal Volante intorno al suo asse (nella disposizione presentata dalla fig. 1 il moto del Volante è quello indicato dalla piccola freccia segnatavi), e ciò in sino a tanto che il punto D′ del manubrio suddetto sia giunto al punto infimo del cerchio da lui descritto, il qual punto corrisponde alla esatta situazione verticale dell'asta medesima BC′. Ora se il Volante arrivasse a questa posizione senza nessuna tendenza a continuare innanzi nel suo cammino, qui giunto si fermerebbe, non potendo l'asta BC′ nè sollecitare il punto D′ a portarsi verso la destra, nè a portarsi verso la sinistra: ma questo non succede, arrivando sempre il Volante a questa posizione con una più o men grande tendenza a continuare nel già concepito moto rotatorio, moto che nel caso mostrato dalla figura tende a portare il punto infimo D′ del manubrio da destra a sinistra. La rotazione continua adunque proseguendo nella medesima direzione, e porta il punto D′ alla sinistra dell'osservatore, e allora l'asta BC′ che per la cangiata azione del vapore ha preso a muoversi nella direzione contraria alla precedente cioè di basso in alto, imprime al Volante suddetto un' altra spinta nel medesimo verso del cammino di lui, dalla quale spinta viene accelerato il suo moto rotatorio. E similmente quando il manubrio è arrivato con l'estremità D′ al punto più alto a cui questa può giungere, si sospende nuovamente l'azione dell'asta BC′, ma la velocità già concepita porta il Volante innanzi e il restituisce di bel nuovo all'azione dell'asta BC′, la quale cambiatasi nel verso del suo movimento torna ad affrettare il già posseduto moto rotatorio. Ecco adunque come il Volante riduce rotatorio continuo il moto alternativo ad archi circolari posseduto dal Bilanciere.

L'azione del Bilanciere sul manubrio del Volante non è uniforme; ella è forte quando esso manubrio è orizzontale, ma è debolissima quando esso è verticale, sia che l'estremità D′ si trovi al punto più elevato del suo giro, sia ch'ella si trovi al punto più basso. Ciò tenderebbe a produrre nel Volante una velocità assai ineguale, più grande nelle posizioni del manubrio D′E′ favorevoli all'azione del vapore, più piccola nelle posizioni del manubrio sfavorevoli a questa azione, attese le resistenze che in questo secondo caso diventano prevalenti. Ma a ciò si ripara col dare al Volante medesimo molto peso e lungo raggio; la velocità del moto rotatorio si rende a questo modo più equabile, vale a dire soggetta a minori aumenti nelle posizioni favorevoli del manubrio, e a minori diminuzioni nelle posizioni sfavorevoli. Di cotali vantaggi poi del Volante noi abbiamo continuamente sott'occhio un esempio, a cui poco badiamo perchè famigliarissimo, ed è nell'ordigno di cui fanno uso gli *Arrotini* nello affilare i coltelli.

Ne' Battelli a vapore manca il Volante, bastando a quest'uopo la massa medesima della Barca, la quale quando è posta una volta in moto, tende per la proprietà dell'inerzia (t. I, § 74) a perseverarvi, e a fare perciò superare ed oltrepassare a qualche pezzo della Macchina le posizioni meno favorevoli all'azione del vapore. Nel Battello del Lago Maggiore la parte che dovrebbe servire di manubrio al Volante mette primieramente in moto due ruote dentate poste l'una dall'un lato della Barca e l'altra dal lato opposto, le quali ne muovono altre due alquanto più grandi similmente dentate e connesse colle due ruote idrauliche munite di pale che pescano nell'acqua e che fanno l'ufficio di remi. Noi non ci tratteniamo a far conoscere qual sia la ragione di quelle ruote dentate, per non allontanarci dal nostro principale oggetto.

VI. *Moderatore.* È facilissimo il caso che il calore procurato dal fornello possa accidentalmente divenire più intenso dell'ordinario; donde deriverebbe troppa forza al vapore, e troppo rapido moto alla Macchina, con grave detrimento di questa. Anche a ciò si è trovato riparo col seguente artificio.

Nell'asse del Volante v'ha una incavatura *n* (fig. 2), la quale riceve una cordicella senza fine o rientrante in se medesima avvolta intorno alle rotelle *p*, *q*, *p′* che si

veggono anche nella fig. 1, e delle quali la p' collocata vicino alla p si trova alquanto più bassa di questa, allo scopo che il ramo di cordicella il quale da q viene a p' possa essere quindi mandato alla parte inferiore della incavatura n; però questo ramo di cordicella non è visibile nè nella fig. 1 nè nella fig. 2, trovandosi nella fig. 1 nascosto da uno de' raggi del Volante che accidentalmente gli si trova dinanzi, e nella fig. 2 rimanendo coperto dal ramo np teso fra la rotella p e la parte superiore dell' incavatura n. Al girare del Volante questa cordicella fa muovere la rotella q, e questa un albero verticale rr' (fig. 1), da cui pendono mediante i bracci $r's$, $r's'$ le due palle metalliche s,s', le quali per la forza centrifuga che concepiscono nella rotazione intorno all'albero rr' si allontanano da questo or più ed or meno, secondo che è più o men veloce il Volante. Con tale loro allontanamento, mediante i due bracci tu, tu', esse fanno elevare un tubo tt' che cinge l'albero già menzionato rr' e vi può scorrere sopra; e questo tubo trae in alto il manico R'R di quella chiave RS (fig. 1 e 2) da cui si è detto dover passare il vapore che viene dalla Caldaja, e la quale aprendosi più o meno gli lascia più ampio o più angusto il passaggio. Con ciò, allorquando il Volante si muove con grande velocità, si allontanano le palle s, s', e si restringe alquanto il suddetto passaggio, e così la troppa forza espansiva che ha il vapore nella Caldaja viene corretta dalla poca quantità che ne può passare al Cilindro; senza di che, se rimanesse costantemente largo il passaggio, per quel grado di forza del Vapore lo stantuffo del Cilindo e il Volante e i meccanismi ulteriori a cui il vapore serve a dar moto concepirebbero una troppo grande velocità; e all'incontro, se il passaggio rimanesse costantemete angusto, si avrebbero troppo deboli effetti quando la forza del vapore venisse alcun poco a rallentarsi.

Questo meccanismo è quello che da molti si appela il *Moderatore*, perchè serve appunto a moderare l'azion del vapore (*). Esso può essere formato in molte maniere, e in

(*) Gli danno altri il nome di *Regolatore*, chiamando con altro nome il meccanismo che noi abbiamo così appellato e che serve a dirigere il vapore ora all'una ed ora all'altra camera del Cilindro.

alcune Macchine non consiste in altro che nella semplice chiave RS (fig. 4) il cui manico è mosso a mano dal macchinista che regola e sorveglia la Macchina.

In alcune Macchine suole adattarsi eziandio un *Moderatore* al fornello, allo scopo che la Macchina regoli da sè l'accesso dell'aria che entra ad alimentare la combustione, e impedisca il superfluo consumo del combustibile.

VIII. *Condensatore.* Consiste questo in un cilindro K (fig. 1, 2 e 4) circondato da acqua fredda, la quale altresì può entrarvi da un canaletto L' curvato internamente verso l'alto, talchè quest'acqua fredda allo entrarvi s'alza in uno zampillo che poscia ricade in goccie presentando al vapore una grande superficie. Ha esso Condensatore due altre aperture, l'una collocata alla sua base superiore e destinata a lasciar entrare il vapore proveniente dal Cilindro principale C, e l'altra indicata da M', situata dall'un fianco e presso la base inferiore del Condensatore medesimo e che serve a porre in comunicazione esso Condensatore con un terzo cilindro N' (fig. 1 e 2) che forma parte di una tromba aspirante e premente di cui vedremo or ora l'ufficio.

Quando adunque il vapore, venendo dall'una o dall'altra camera del cilindro C, entra nel Condensatore, incontra esso lo zampillo dell'acqua fredda spintovi dalla pressione atmosferica alla quale il vapore medesimo già condensato in parte non può fare equilibrio, e da questo incontro viene ridotto quasi tutto allo stato liquido; così esso perde quasi interamente la sua forza espansiva, tanto nel Condensatore stesso quanto in quella camera del Cilindro C la quale è in comunicazione con esso Condensatore; di maniera che questa forza non può fare notabile contrasto al vapore che entra nella opposta camera del Cilindro per metterne in moto lo stantuffo.

Il Condensatore è una parte importantissima di queste Macchine, specialmente in quelle a *bassa pressione.* In queste ultime l'effetto del vapore, quando entra in una delle camere del Cilindro, dipende quasi interamente dalla mancanza più o meno perfetta di una contraria forza nella camera opposta, sì per parte di altro vapore, come per parte della pressione atmosferica.

Ma se l'acqua che entra nel Condensatore tanto venendovi dal sifoncino L' allo stato liquido, quanto arrivandovi dal Cilindro C allo stato di vapore, non ne venisse ritolta fuori, ben presto esso Condensatore ne diverrebbe pieno, e inetto al suo ufficio. Di qui scaturisce la necessità della parte di Macchina che passiamo a descrivere.

IX. *Tromba aspirante e premente.* Questa serve ad estrarre continuamente l'acqua dal Condensatore. Ella è simile a qualsivoglia altra tromba di questo genere; ed è mossa da un'asta verticale xx' unita per la estremità superiore a un lato del Parallelogrammo di cui si è già parlato; la quale asta gode anch'essa della prerogativa di poter salire e discendere senza piegarsi nè a destra nè a sinistra, prerogativa che si ottiene col fare che il punto x d'applicazione dell'asta col Parallelogrammo corrisponda a un tal luogo del lato EG, che si abbia la proporzione

$$DE : Ex :: DF : FH.$$

Nell'alzarsi di quest'asta viene estratta l'acqua dal Condensatore insieme coll'aria che da essa può essersi svolta, e nell'abbassarsi dell'asta medesima vengono l'aria e l'acqua suddette spinte fuori in un'altra capacità per mezzo di un opportuno condotto. Nel nostro Modello questo condotto consiste nel tubo ricurvo $vv'v''$ (fig. 1 e 2) il quale versa nuovamente l'acqua estratta nella massa d'acqua fredda che circonda sì il Condensatore che il corpo di tromba N', massa d'acqua che non si è indicata nella tavola per lasciare visibili queste parti del Modello. Nelle Macchine d'uso una parte di quest'acqua che viene estratta dal Condensatore viene mandata nella Caldaja, per supplire a quella che va uscendo allo stato di vapore; questa pratica ha il vantaggio di trarre profitto dal calore che quest'acqua del Condensatore conserva.

Ma l'asta che muove la Tromba ha altresì un altro ufficio assai importante, vale a dire quello di alzare e di abbassare il manubrio Z (fig. 1 e 4) della chiave U del Regolatore. Ciò si effettua per mezzo di due leve y, y' girevoli intorno a due piccoli pernii collocati in due finestrelle dell'asta stessa, le quali leve appoggiandosi con l'una estremità ad un piccolo cilindro fisso z, muovono coll'altra a guisa di

leve di terzo genere il manubrio Z. Quando all' abbassarsi dell' asta, questa si trova giunta presso al termine di sua discesa, la leva superiore *y* s'appoggia con l'una delle sue estremità sopra il cilindretto *z* e coll' altra deprime il manico Z portandolo alla posizione indicata dalle fig. 1 e 4; con che viene determinato il passaggio del vapore dalla Caldaja alla camera inferiore del Cilindro C, e l' uscita del medesimo dalla camera superiore di esso Cilindro al Condensatore; in forza di che lo stantuffo e l' asta di questo debbono cangiar direzione e rialzarsi, eseguendosi durante l' alzamento que' movimenti ne' varii pezzi della Macchina che sono indicati dalle piccole freccie che si veggono segnate. Intanto che l'asta *xx'* si va innalzando, questo manubrio Z viene lasciato a se stesso per un certo tratto di tempo, ma in sul fine la leva inferiore *y'* incontra con una sua estremità (con quella cioè più lontana dall' osservatore) il piccolo cilindro *z*, e appoggiandosi ad esso fa rialzare nuovamente coll' altra estremità il suddetto manubrio Z, dandogli la posizione indicata dalla fig. 5; dopo di che il vapore entra nella camera superiore del cilindro e fa abbassare lo stantuffo, in tanto che il vapore esistente nella camera inferiore trova aperto il passaggio al Condensatore. Il cilindretto *z* poi si trova fermato a un lato della parte superiore di una molla *z'* la quale tiene premuta la chiave U del Regolatore entro la cavità cilindrica di esso.

X. *Ordigno per la comunicazione del moto* ai meccanismi che si vogliono muovere per mezzo del vapore. Consiste questo in due ruote S', T' (fig. 1 e 4) collocate alle estremità di un medesimo asse che è situato sulla stessa retta dell' asse del Volante ma che è da esso staccato, trovandosi la separazione de' due assi fra le ruote X', S' (fig. 4). La ruota T' congiunta coll'asse medesimo, la quale ha la forma di un tronco di cono ed è dentata alla sua circonferenza, si prepara ingranata con un' altra ruota pure dentata e conica, ma girevole intorno ad un asse verticale, e appartenente al meccanismo che si vuol mettere in moto, la quale però non si è delineata per non imbarazzare la figura. L'altra ruota S' può scorrere lungo al suddetto asse, che quivi è di sezione quadrata onde essere obbligato a rotare insieme con essa

benchè non congiunto; e per mezzo di una leva U' V' può essa ruota S' venire avvicinata e ingranata con la ruota X' annessa al Volante, ovvero allontanata e liberata da un tale ingranamento; per ottenere il quale ingranamento si nòvi nella ruota X' alcuni vani che corrispondono ad alcuni denti della ruota S' sporgenti verso la X' medesima. Nè un tale ingranamento può fallire, anche allorquando il Volante giri velocemente, non occorrendo che premere con un po' di forza la ruota S' contro la X' mediante la leva U' V', affinchè all'arrivare de' buchi della X', mentre gira il Volante, a fronte dei denti della S', questi vi entrino immediatamente. Appena poi che ciò è ottenuto, la ruota S' si pone in moto (non facendo nessun impedimento la leva U' V'), e fa muovere l'asse quadrato da essa abbracciato, questo mette in movimento la ruota T, e quest'ultima comunica il moto al meccanismo che le sta unito. All'incontro, se appena si allontana la ruota S dalla X' annessa al Volante, il meccanismo suddetto si arresta. Onde mantenere poi o il movimento o il riposo, si ferma la leva U' V' mediante una caviglia che si pone ora nell'uno ed ora nell'altro de' due buchi *e'*, *f'*.

Alcune Macchine a vapore mancano del descritto ordigno, e in esse i movimenti vengono fermati mediante l'apprimento della Valvula di sicurezza e il chiudimento della chiave del Moderatore (cioè della chiave RS della fig. 4); e vengono determinati a ricominciare colla pratica contraria.

Altre considerazioni sulle Macchine a vapore in genere. Oltre alla specie di Macchina a vapore che si è procurato di descrivere, la quale, come si è detto, è quella di Watt a doppio effetto, ve ne sono di moltissime altre sorte, non solo differenti per la diversa disposizione de' varii pezzi, ma differenti eziandio pel metodo d'impiegare il vapore alla produzione del moto. Ve n'hanno di quelle *a semplice effetto*, nelle quali il vapore opera sullo stantuffo da una banda sola, p. e. solamente al di sopra, tornando poi esso stantuffo a risalire in forza di un contrappeso. Ve n'hanno di quelle senza stantuffo; di quelle a rotazione immediata. Ma riguardo a tutto questo io non posso che rimandare i leggitori alle opere che trattano diffusamente

di questo soggetto, e fra le altre alla grandiosa opera del Professore Borgnis che ha per titolo: *Traité complet de Mécanique appliquée aux arts* (1), al volume I riguardante la *Composition des Machines* (p. 79 e seg.). In quest'opera, secondo che si assicura nel nuovo Dizionario fisico di Gehler (t. II, p. 418), si trova la più compiuta descrizione di questo genere di macchine, sì delle diverse loro specie, come anche delle varie separate parti di ciascuna di esse.

La forza delle Macchine a vapore si suol valutare col paragonare il loro effetto al lavoro di un certo numero di cavalli. In questo computo il lavoro di un cavallo è l'effetto che si può ottenere da un cavallo d'eccellente qualità che continuamente lavori venendo supplito quando è stanco, ovvero da tre ottimi cavalli che lavorino senza interruzione otto ore al giorno l'uno; il qual lavoro è circa quello di otto cavalli mediocri che si mutino fra loro quando sono stanchi, o quello presso a poco di 60 uomini; e corrisponde a circa 6000 metri cubici di acqua elevati a un metro d'altezza ogni ventiquattro ore (2). Di tali Macchine poi ve n'ha d'ogni forza, da quella d'un sol cavallo a quella di mille cavalli. Si assicura che nelle miniere di Cornouailles in Inghilterra ve n'ha una della forza di 1010 cavalli (3).

Sono numerosissime le applicazioni di queste Macchine. Servono esse a muovere delle trombe per elevare l'acqua. S'impiegano a far camminare le navi contro vento e in tempo di calma, per la linea che conduce dirittamente al termine del viaggio, e con grandissima velocità, vale a dire con quella di circa 10 miglia all'ora. Si usano a far girare i mulini da grano, a stampar monete, a stampar libri, ec. E si sono perfino immaginate le carrozze a va-

(1) Paris 1818 et suiv.

(2) *Bibl. Univ. Sc. et Arts.* Février, 1827, p. 132. Watt, citato da Borgnis nell'opera summenzionata al vol. I, p. 83, valuta la forza di un cavallo a 265 metri cubici d'acqua elevati d'un metro per ciascun'ora, il che corrisponde a metri cubici 6360 al giorno.

(3) Borgnis, *ibid*, p. 83.

pore. Il paese dove sono più diffuse è l'Inghilterra. Secondo Partington v'erano in quel regno nel 1822 dieci mila di queste macchine, della forza fra tutte di 200 mila cavalli, al cui mantenimento sarebbe occorso tanto terreno da poter alimentare un milione e mezzo d'uomini (*).

(*) Gehler's *Physikalisches Wörterbuch neu bearbeitet*, t. II, p. 417.

INDICE

DE' CAPITOLI

COMPRESI

IN QUESTO SECONDO VOLUME

Al lettore . . . . . *pag.* iii

SEZIONE TERZA

DEL CALORICO

CAPO I. De' Principii imponderabili in genere, del Calorico, e delle sue sorgenti . . . . . » 1

II. Del Calorico considerato allo stato di equilibrio . . . . . » 23

III. Della propagazione del Calorico, e in particolare del Calorico repente . . . . . » 65

IV. Del Calorico propagato per moto idrostatico e per altri movimenti de' fluidi . . . . . » 82

V. Del Calorico raggiante . . . . . » 110

VI. Applicazioni diverse delle dottrine esposte ne' tre Capitoli precedenti . . . . . » 154

VII. Degli effetti del Calorico in generale, e in particolare degli effetti fisiologici . . . . » 205

VIII. Della Dilatazione de' corpi . . . . . » 220

IX. Della costruzione e dell'uso de' Termometri » 280

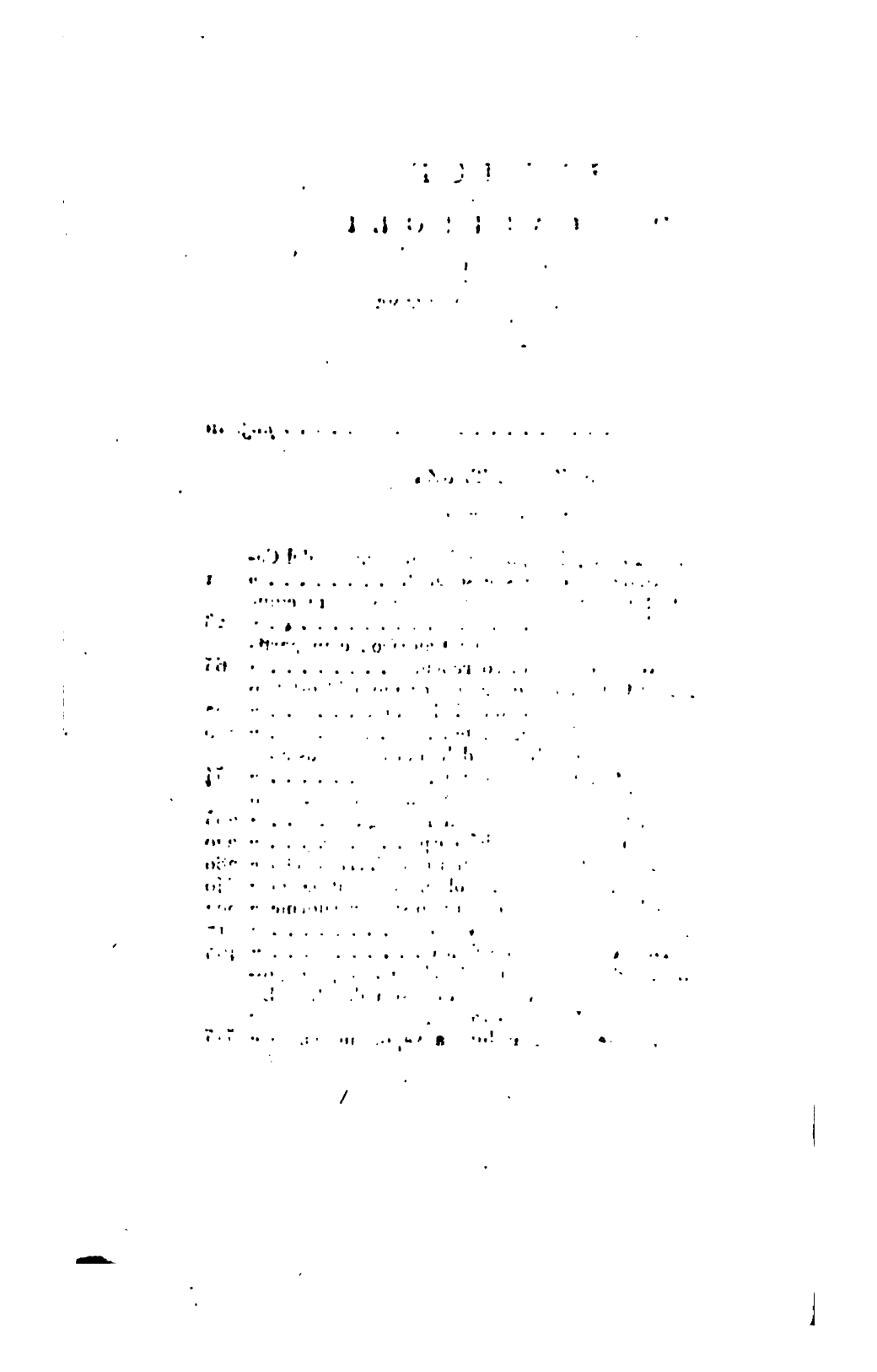
X. Della Fusione e della Solidificazione de' corpi » 340

XI. Del passaggio de' corpi allo stato aeriforme » 362

XII. Delle proprietà de' Vapori . . . . . » 417

XIII. Dell' Umidità atmosferica . . . . . » 499

NOTA. Descrizione del Modello di Macchina a vapore posseduto dal Gabinetto di Fisica dell' I. R. Liceo di Porta Nuova in Milano, con alcune notizie sulle Macchine a vapore in genere » 575



INDICE DE' CAPITOLI

COMPRESI

IN QUESTO SECONDO VOLUME

Al Lettore . . . . . pag. iii

SEZIONE TERZA

DEL CALORICO

Capo I. *De' principii imponderabili in genere, del Calorico, e delle sue sorgenti* . . . . . » 1

De' principii imponderabili in genere, *p.* 1. Nozioni generali sul Calorico, 3. Delle sorgenti del Calorico in genere, 4. Raggi solari liberi, *ivi.* Raggi solari concentrati, 5. De' Raggi lunari e delle altre sorgenti di Calore esteriori al globo terrestre, 10. Calorico che si sviluppa dalla Combustione e dagli altri mezzi chimici, 12. Mezzi meccanici per isviluppare Calorico, 16. Calorico che si sviluppa dal passaggio del fluido elettrico, 20. Del Calore proprio e centrale del globo, 21.

Cap. II. *Del Calorico considerato allo stato di equilibrio* . . » 23

Imponderabilità del Calorico, 24. Nozioni sulla Temperatura. 25. Calorico specifico, 31. Calorico che divien latente nelle rarefazioni de' fluidi aeriformi, nel passaggio de' solidi allo stato liquido e in quello de' liquidi allo stato aeriforme, e che divien sensibile ne' cangiamenti opposti; Mescolanze frigorifiche, 41.

Cap. III. *Della propagazione del Calorico, e in particolare del Calorico repente* . . . . . » 65

Nozioni generali sulla propagazione del Calorico, 65. Leggi della propagazione del Calorico repente nei corpi solidi, 66. Conducibilità de' solidi che sia e come si misuri, 71. Del Calorico repente ne' fluidi, 80.

Cap. IV. *Del Calorico propagato per moto idrostatico, e per altri movimenti de' fluidi* . . . . . » 82

Come si effettui la propagazione del Calorico ne' fluidi per moto idrostatico, 82. Comunicazione del Calorico fra i solidi e i liquidi, 88. Comunicazione del Calorico fra i solidi e i fluidi aeriformi, 96.

Cap. V. *Del Calorico raggiante* . . . . . » 111

Proprietà del Calorico raggiante considerato in sè stesso, 111. Del modo di prestarsi de' corpi rispetto al Calorico raggiante, 116. Facoltà emittente, *ivi.* Facoltà riflettente, 132. Fa-

colta assorbente, 134. Azione de' corpi freddi, 143. Apparente riflessione del freddo, 146. Della trasmissione del Calorico raggiante attraverso ai corpi diafani, 147. Relazione fra il Calorico raggiante e la luce, 150.

Cap. VI. *Applicazioni diverse delle dottrine esposte ne' tre capitoli precedenti* . . . . . pag. 154
Del raffreddamento de' corpi, 154. Del riscaldamento de' corpi, 171. Degli effetti del Calor solare e dell' irradiazione notturna, 186.

Cap. VII. *Degli effetti del Calorico in generale e in particolare degli effetti fisiologici* . . . . . » 205
Impressione sui sensi, 205. Azione sulle funzioni vitali, 211. Effetti chimici in genere, 219. Effetti fisici in genere, *ivi*.

Cap. VIII. *Della Dilatazione dei corpi* . . . . . » 220
Dilatazione de' solidi, 220. Dilatazione de' liquidi, 235. Spiegazione di diversi fenomeni naturali dipendenti dalla legge della dilatazione dell'acqua, 249. Cenni sui fenomeni dipendenti dalla dilatazione dell'aria operata dal Calorico, 259. Legge della dilatazione de' fluidi aeriformi, 263. Tavola delle dilatazioni di diverse sostanze, 275.

Cap. IX. *Della costruzione e dell' uso de' Termometri* . . . . » 280
De' comuni Termometri a mercurio e ad alcool, delle più usitate scale termometriche, de' pregi comparativi de' Termometri a mercurio e di quelli ad alcool, 280. Di alcune avvertenze necessarie nell'uso de' comuni Termometri, 299. Di alcune altre specie di Termometri, 317. Di diversi altri metodi per misurare la temperatura, 330. Sullo zero assoluto di temperatura, 337. Tavola di alcune temperature più notabili, 339.

Cap. X. *Della Fusione e della Solidificazione dei corpi* . . . . » 340
Della Fusione, 341. Particolarità che si osservano nella fusione di diverse sostanze, 343. Tavola delle temperature a cui si fondono diverse sostanze, 348. Della Solidificazione, 350. Particolarità che presentano alcune sostanze nella loro solidificazione, 358.

Cap. XI. *Del passaggio de' corpi allo stato aeriforme* . . . . » 360
Dell' Evaporazione, 362. Dell'Ebullizione, e in particolare di quella dell' acqua, 372. Influenza della pressione atmosferica sulla Ebullizione de' liquidi, 395. Influenza delle sostanze sciolte, 397. Applicazioni alla graduazione de' Termometri, 398. Ulteriori nozioni sul Calorico che divien latente nel passaggio de' liquidi allo stato aeriforme, 401. Di altre particolarità riguardanti l' Ebullizione, 409. Fenomeni che si presentano nell' Ebullizione di diverse sostanze, 412. Tavola delle temperature alle quali diventano aeriformi diverse sostanze, 414.

Cap. XII. *Delle proprietà de' Vapori* . . . . . » 417
Delle proprietà de' vapori nel vacuo, e in ispecie della loro

forza espansiva, 417. Della forza espansiva del vapore acqueo alla densità della saturazione, 424. Di alcuni effetti della forza espansiva del vapore acqueo, 437. Del ritorno allo stato liquido de' vapori nel vacuo, 441. De' vapori misti coi gas e in ispecie coll'aria, 446. Del vapore visibile, cenni sulle nebbie e sulle nubi, ipotesi di Humboldt sulla formazione della grandine, 455. Della mescolanza vicendevole de' vapori, 480. Di alcune recenti sperienze riguardanti i vapori, e prima della liquefazione dei gas, 485. Sperienze di M. Cagniard La-Tour, 487. Fenomeni presentati dalle goccie liquide sui corpi roventi, 490.

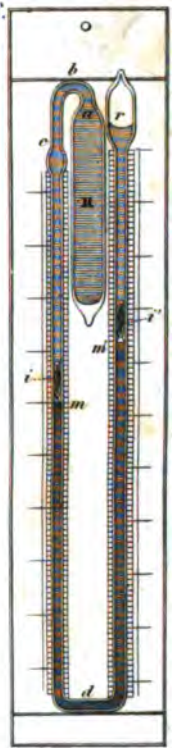
Cap. XIII. *Dell'Umidità atmosferica* . . . . . pag. 499

Del vapore acqueo invisibile considerato nell'aria, 500. Deposizione dell'umidità sui corpi, 504. Equilibrio igrometrico, 510. Azione dell'umidità sui corpi, 512. Della misura dell'umidità dell'aria, e prima de' metodi igroscopici, 514. Metodo dell'appannamento, Igrometro di Daniell, 517. Metodo del raffreddamento prodotto dall'evaporazione, Igrometro di Leslie, 531. Psicrometro di August, e perfezionamenti al medesimo, 540. Degli Igrometri e in ispecie di quello di Saussure, 565. Formazione della rugiada e della brina, 570.

Nota. Descrizione del Modello di Macchina a vapore posseduto dal Gabinetto di Fisica dell'I. R. Liceo di Porta Nuova in Milano, con alcune notizie sulle Macchine a vapore in genere . . . . . » 578

	ERRORI				CORREZIONI
Vol. I.	pag. 33	lin. 19	ad . . .		al peso di
	» 71	» ult.	274 . . .		T. I. p. 274
	» 128	» ult.	5r5 . . .		155
	» 153	» 22	CGHF . .		CGHD
	» 187	» 3	sulfurato .		fosfurato
	» 211	» 6	solfato . .		fosfato
	» 220	» 29	con sotto .		misto con
	» 222	» 7	solfato . .		fosfato
	» 231	» 13	0,624 . .		0,620
	» 232	» 5	distanze . .		distanze medio
Vol. II.	» 19	» 23	Rumford avendo rivolto colla bocca verso l'alto un cannone di bronzo, il riempì di acqua, e poscia il fe' trapanare sul fondo tenendo premuto il trapano con molta forza; il calore fu tale che in capo a due ore l'acqua giunse a bollire. Secondo questo autore, un tal fatto		Rumford fece diverse sperienze sul calorico che si sviluppa dai corpi mediante lo sfregamento. In una di queste egli fece girare, mediante la macchina da forar cannoni, un cilindro cavo di bronzo con entro un trapano ottuso di acciajo che gli stava fortemente premuto contro, tenendo si il cilindro che il trapano in mezzo ad un vaso riempiuto d'acqua. Il cilindro faceva 32 giri ad ogni minuto prime; e in ore 2 1/2 di lavoro l'acqua che era a 60.° F. (12°, 5. R) giunse a bollire. Secondo questo Fisico un così abbondante e quasi indefinito sviluppo di calorico che si ottiene collo sfregamento
	» 33	» terult.	294 . .		234
	» 77	» 6	1121 . .		1171
	» 80	» 6	degradazione		la degradazione
	» 93	» 20	essendo .		ed essendo
	» 106	» 11	metallico .		metallico schiacciato
	» *ivi*	» 13	quando . .		quando il maggior diametro della sezione trasversale
	» 156	» 12	2′, 27 . .		4′, 27
	» *ivi*	» 14	3′, 3 . .		5′, 3
	» 220	» ult.	3/4 . .		3/n
	» 223	» 3	Hersehel .		Herschel
	» 261	» 36	. . . .		*Si levi l'ultimo periodo della Nota; perocchè essendosi recati nella state del 1831 il Canonico Bellani e l'autore a visitare il luogo ove si asserisce formarsi il ghiaccio di cui si parla in questo periodo, si convinsero non essere il preteso fenomeno che una mera illusione; in luogo cioè di ghiaccio trovarono delle piccole stalattiti e concrezioni calcaree.*
	» 370	» 11	calcare . .		argillosa
	» 469	» 2	vaso . .		caso
	» 500	» 19	se si talvolta		se talvolta si
Dalla pag.	545 *alla*	564	. . . .		*i numeri de' § in luogo di* 733, 734, 735, 736, 737 *debbono essere rispettivamente* 833, 834, 835, 836, 837.
	» 558	» 24	*nel denom.* $\left(1, -\frac{1}{76}, E'\right)$		$\left(1 - \frac{1}{76} E'\right)$
	» 574	» ult.	T. VI . .		T. V.

g. 16.



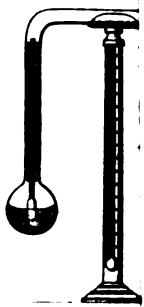


Fig. 21.

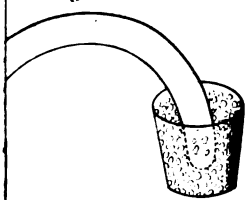
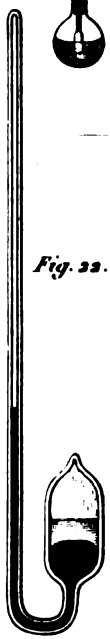
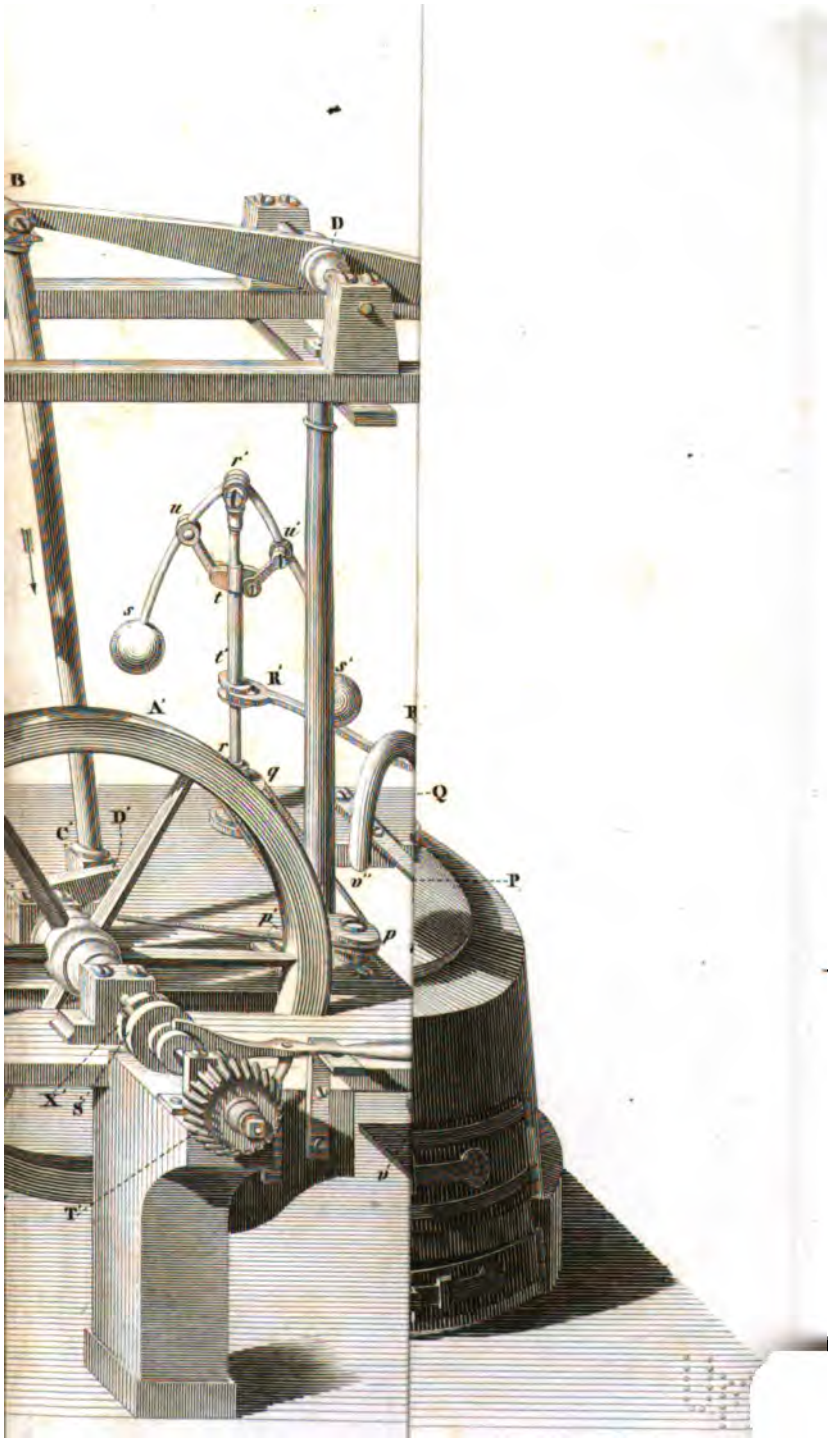


Fig. 22.



Tav. II.